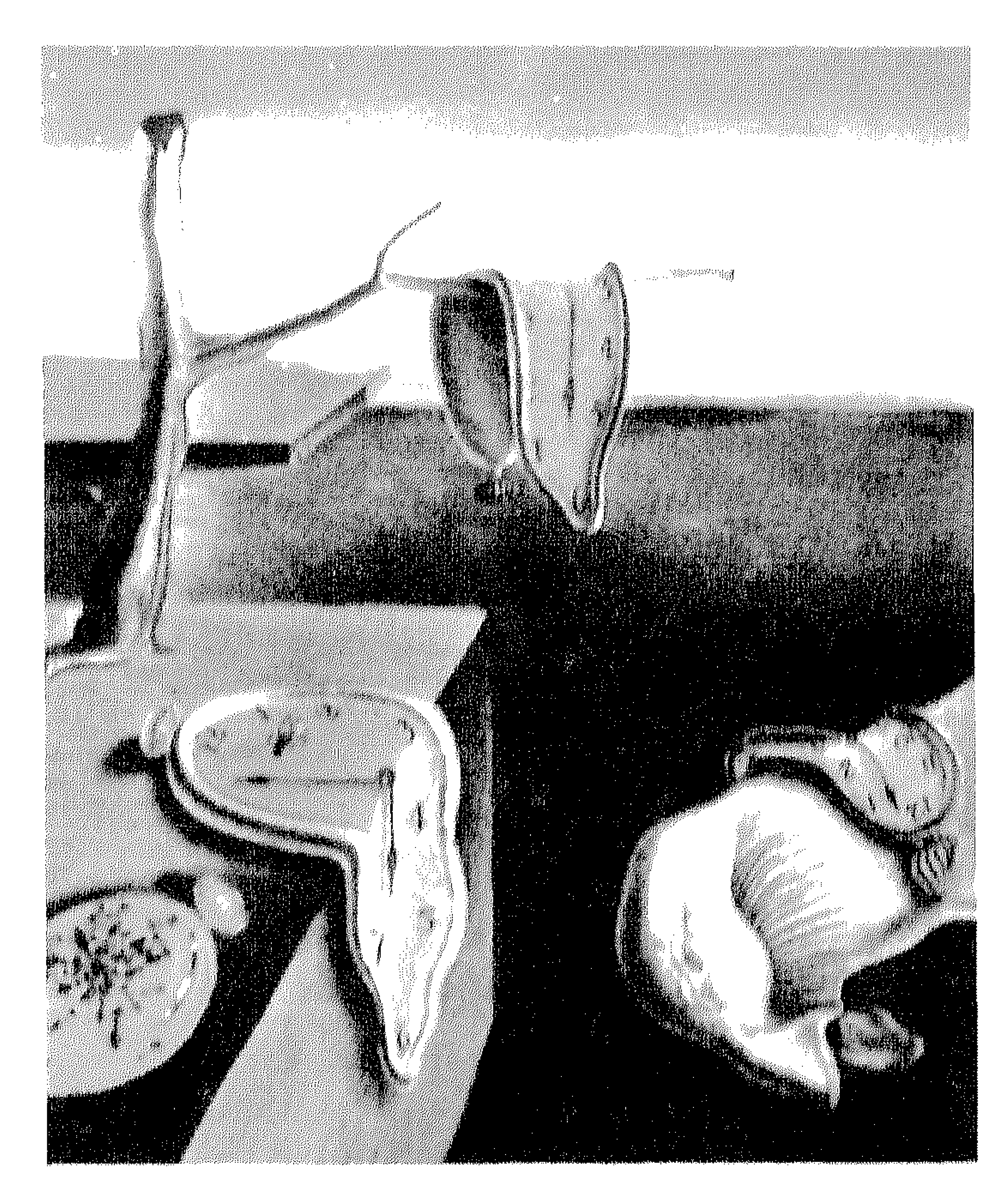
ريمي ليستيين



أَبناء ٱلزَّمَان

السَّببِيَّة - الأَنطروپيا - الصَّيرُورَة

ترجمة

محمد حسن ابراهيم

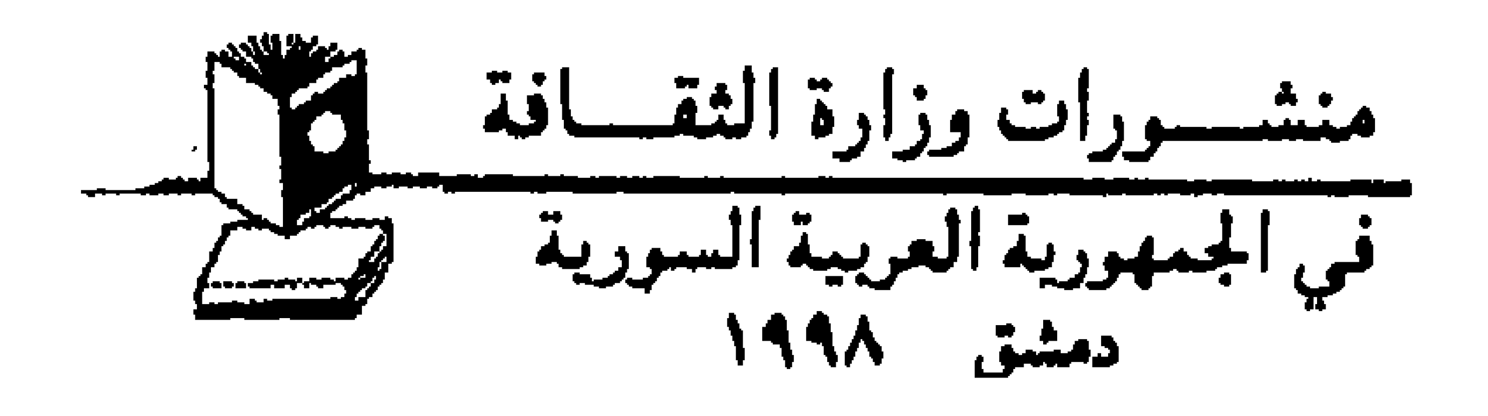
الإشراف الفني زهير الحمو

ريمي ليستيين

أبناء الزَّمان

السَّببيَّة - الأَنطروپيا - الصَّيرورة

ترجمة
محمد حسن ابراهيم



منشورات وزارة الثقافة
في الجمهورية العربية السورية
دمشق ١٩٩٨

العنوان الأصلي للكتاب :

RÉMY LESTIENNE

LES
FILS DU TEMPS

CAUSALITE, ENTROPIE, DEVENIR

Préface de Jean-Didier Vincent

أبناء الزمان : السببية، الأنطروبيا، الصيرورة = Les Fils du temps
/ ريمي ليستيين؛ ترجمة محمد حسن ابراهيم . - دمشق: وزارة الثقافة،
١٩٩٨ . - ٢٧٩ ص؛ ٢٤سم . - (دراسات علمية؛ ٣٣) .

١-١١٥ ل ي س أ ٢-١ر٥٣٠ ل ي س أ ٣-العنوان
٤-العنوان الموازي ٥-ليستيين ٦-ابراهيم ٧-السلسلة
مكتبة الأسد

الايداع القانوني: ع- ١١٤٦/ ٧/ ١٩٩٨

دراسات علمية
« ٣٣ »

مقـدمة

تؤكد مقدمةٌ بحضورها واقعَ ما «ليس بعدُ موجوداً» الشيءَ اللامعطى بعدُ (moch - micht vorhamden) : النص . بعبارة أخرى إنها مقدم - نص، نوع طرحٍ على بساط البحث لقراءة (لمطالعة) يوشكُ أن يتحول إلى ضياع وقت بالنسبة للقارىء وإلى ذريعة بالنسبة للمقدِّم حتى يحل محل الكاتب بادعاء قوله ببضعة أسطر ما قد أتاحت أعوامُ تفكيرٍ التعبيرَ عنه بفصولٍ مؤلفة بوضوح لا تحتاج إلا إلى جمهور قراء كي يجعل زمان الكتابة الشاق يتشظى إلى ألوف أزمنة قراءة. فالكتاب هو بالفعل مستودع زماني عجيب، انتاج هذا الصانع الماهر للزمان الذي هو الإنسان.

إذاً، عن هذا الكتاب لن أتحدث، اللهم إلا كي أقول أنني قد تابعت من حين إلى حين إعدادَه البطيء، باهتمام طال أمده بعد القراءة، وأستطيع دون خوف أن أكون قد أخطأت استباق االلذة التي سوف تعتري القارىء، لكن بشرط أن يوافق على بذل الجهد الذي يتطلبه تنقله بين علوم مختلفة جداً كالفيزياء وعلم الفلك والرياضيات والبيولوجيا، وفهم الكتاب لا يستدعي، في أي وقت من الأوقات، معرفة اختصاصي، ولا حاجة لأن نستعمل حتى من أجل هذا المجازات البلهاء والمبتذلة التي تُفرض علينا بصورة عامة بحجة التبسيط، إن بضع الملاحظات التمهيدية التي أوردها سوف تكون منحصرة في المجال الذي أعرفه، أي البيولوجيا، وسوف لن يكون لها من غاية غير تأجيج لهفة القارىء وفتح شهيته للمعرفة، شأنها شأن المشهيات التي لا تدل بأي شكل من الأشكال على المأدبة التي أنتم مدعوون إليها.

إن الزمان، وهو مفهوم بسيط، لا يمكن أن يكون معرفاً بوساطة مفاهيم أبسط؛ فمثل هذه المفاهيم الأبسط لا يوجد. إن تعريفاً للزمان سوف يكون، والحالة هذه، دائماً، تعريفاً غير مباشر ومرتبطاً بالشروط الخاصة لتجلياته، على هذا النحو يتجلى الزمان الحيواني قبل كل شيء على أنه ظاهرة تتيح التوفيق بين المكان الجسمي للموجود والمكان الخارجي الذي يتحرك فيه هذا الموجود. إن الزمان، على ما هو، يؤلف مع المكانين الجسمي وخارج الجسمي المركبة الثالثة لهذه الحالة المتموجة المركزية التي تنعت الـ «موجود في العالم». والتخيلي يتصور بسهولة الماضي والمستقبل والحاضر الذي يمكن أن يعتبر «كخليط» من الماضي والمستقبل. وتوجد هندسة للزمان: فالنقطة بالنسبة للخط كاللحظة بالنسبة للمدة. والنقطة ليست مُشتملَة في جزء من المكان ولا يمكن أن تكون معرفة بصورة غير مباشرة بغير تقاطع خطين. قياساً على ذلك، تمثل اللحظة تجلي التواقت بين زمان المكان الجسمي وزمان المكان خارج الجسمي. فجريان الزمان يكون آنذاك تدفق لحظات متصل. إن هذا التواقت عارض وهش. فالدماغ يديره، وهو يقتضي تدخله في كلي المكانين المتجابهين. لهذا الغرض على الدماغ أن يستبق: وأن يحصل توقع، هو أن يتم نظر إلى الوراء من أجل أن يُسأَل الماضي. وليس الحدس الإستباقي غير تقدير احتمالي مؤسس على معرفة وقائع سابقة مجمعة في الذاكرة. ولدى الإنسان، بلغت ملكة الحدس الإسنباقي درجة رفيعة بسبب نماء قشرة الدماغ الجبهية. إن الحيوان أيضاً يملك إمكان الحدس الإستباقي وتصرفاته تتوقف على اختيار ستراتيجيات مرتبطة بإنتظار حوادث متوقعة غير أنه لا يوجد ثم ما يماثل الاستطاعات الاستباقية العجيبة التي للإنسان.

ويُعدّ مزية من مزايا كتاب ريمي ليستيين العديدة، بالمقارنة مع المؤلفات الحديثة العهد التي تعالج موضوع الزمان، إظهارُه وجهاً أساسياً من أوجه مفهوم الزمان: الصيرورة. كيف سوف يكون الطقس غداً؟ في هذا الإستفهام، ينضم علم الأرصاد التلقائي لـ «الموجود في العالم» إلى الانطولوجيا فريمي ليستيين يظهر كيف أن أخذ الصيرورة بالحسبان بجر إلى أن يُطرح للمناقشة طرحاً جذرياً مثال السببية

ومفاهيم المكان ـ زمانية المرتبطة به . إن رأيي الشخصي في هذه المناقشة قليل الأهمية ، لذلك سوف أكتفي بأن أجلب إليها التعريف الذي يقدمه آمبروز بييرس عن المعلول : «الثاني من ظاهرتين تبدوان دائماً معاً وبالترتيب نفسه . فالأولى ، المدعوة سبباً ، تعتبر مسببة للظاهرة الأخرى ، الأمر الذي ليس مبرهناً بشكل أفضل مما لو كان من يبرهن شخص لم يسبق له أبداً أن رأى كلباً إلا وهو يطارد أرنباً ، فيعلن أن الأرنب هو سبب الكلب» . بالمناسبة ، توجد نقطة ثانوية لكنها ليست عديمة الأهمية أستطيع دون مجازفة بتشويش القارىء أن أشير إليها في هذه المقدمة : نقطة أهمية الأرنب وابن عمه الأرنب البري في المناقشة الفلسفية حول الزمان!

«أوه لا ! سأكون متأخراً» أي شيء عادي أكثر من أرنب أبيض يتذمر من إكراهات الزمان؟ ولماذا قد تندهش أليس من استعجال الحيوان ، أليس التي تخضع حياتها لإيقاعات الدروس و«شاي الساعة الخامسة» شاي أمها؟ مع ذلك ، عندما يخطر للحيوان أن ينظر إلى ساعته ، قبل أن يعود إلى الجري أكثر فأكثر ، تنتصب أليس بقفزة واحدة : إنها لم تر قط أرنباً مزوداً بصدرية ذات جيب ولا بساعة . إن أليس مخطئة في اندهاشها ؛ فالساعات والميقاتيات هي الأشياء الأكثر شيوعاً لدى الحيوانات .

فعلاً ، توجد ميقاتية مؤلفة من مائة عُصبون في عين الحلزون : وهي تدل على الأيام بدقة تناسب صانع ميقاتيات سويسرياً . ويقال بأن المقصود هو «ناظمة hace-maker» يوماوية لأنها تملك خاصة انتاج إيقاعات على غرار موقتة موسيقية تحدد النغم وفق دورٍ مدته يومٌ تقريباً . وهذا الدور هو خاصة ذاتية للخلايا العينية : هذه الخلايا تستمر ، عندما تكون مفصولة عن العين وعن بقية الجسم ، في إبداء تعاقب نشاط وتوقف وفق دورية دورها ٢٤ ساعة ، فالساعة الحية ، شأنها شأن كل ميقاتية ، يجب أن تضبط تبعاً للفصول والمناطق الزمانية ، والدماغ هو الذي يقوم بهذا الضبط بوساطة الطرق العصبية التي تبدل طور الميقاتية دون تغيير دورها ، ويستعمل الدماغ ، من أجل نقل أوامره ، رسولاً كيماوياً ، السيروتونين ، الذي هو ميقاتي الحي الحق ، موجوداً لدى جميع الأنواع الحيوانية العليا .

إن عملية صنع الزمان تبدو والحالة هذه خاصة أساسية من خواص الحي. ويشكل الإيقاع اليوماوي إمكانية عجيبة للتكيف مع شروط الحياة على سطح الأرض. فكل الموجودات الحية الأكثر تطوراً من الباكتريات تبدي إيقاعات بيولوجية (تعاقب نشاط ـ توقف، دورة درجات حرارة، إلخ). تحصل وفق دور مدته ٢٤ ساعة. وهذه الإيقاعات اليوماوية داخلية المنشأ وتكوِّن جزءاً مكملاً من الخلية.

لدى الموجودات متعددة الخلايا، وحدَها بضعةُ خلايا تحافظ على خاصة انتاج الإيقاع اليومياوي هذه، فهي الميقاتيات الداخلية، المكونة من عصبونات متخصصة، يمتلكها لا الحلزون وحسب بل أيضاً حيوانات أكثر تطوراً: الفأر وأرنب أليس، و. . . الإنسان. لا أحد يستطيع الإفلات من هذه الأوزان الإيقاعية التي يفرضها الدماغ، لنتصور أن ساعاتنا البيولوجية قد توقفت، كساعة صانع قبعة أليس المجنون (إن الساعة تشير دائماً إلى الخامسة مساءً، ساعة تقديم الشاي، الشاي الأبدية)، لم تعد هناك ساعات عندها نأوي إلى السرير وساعات عندها نستيقظ من النوم، نجلس إلى الطاولة، نعمل. . . إن عدداً من نشاطاتنا ومن افرازاتنا الهورمونية وحركات أحشائنا ربما سوف لن يستطيع الاستغناء عن إيقاع الحركة اليومي هذا. إن العديد من «الساعات» التي يأويها دماغنا تضبط عملية توظيف الزمان لكل وظيفة من وظائفنا. إلا أن ميقاتية وحيدة، تدعى «الميقاتية الرئيسة» تغلف وتحكم هذه الكومة من النواسات نوعاً ما على غرار ما يحصل في محطة سان ـ لازار للقطارات. وتكون مطمورة في أعماق قاع الدماغ، في نواة وِطاء ما فوق التصالبات».

والإيقاع اليوماوي يوجد قبلياً لدى الجنين: وعليه فإن إيقاع الأم اليوماوي يعيقه، لكنه يمكن أن يكون مفصولاً عنه بسهولة. إن مخططات الميقاتية تكون من جملة الإرث المورثاتي للفرد. وقد عزل بيولوجيون منذ وقت قريب، على الكروموزوم X لذبابة الخل، المورثَ المسؤولَ عن هذه الخاصة الدورية. والغريب في الأمر هو أن الطافرات تتكشف عن إيقاعات قُصِّرت أو طُوِّلت أو غُيِّبت. كما

نعرف شذوذات زمانية أخرى، مثل نغم التزاوج اللامتناهي، أو العكس، المختصر إلى بضعة ثوانٍ إن مورثاً مفرداً يبدو والحالة هذه حاكماً جميع إيقاعات العضوية الحية: «مورث يصنع الزمان». فبدءاً من هذه المورثة، سوف يستطيع الباحثون على ما يحتمل أن يتابعوا مختلف المراحل الكيماحيوية التي تحول خلية إلى نواسٍ وأرنب أليس يستطيع دائماً أن يأمل بإعادة صنع الزمان الذي ضيعه.

إن ريمي ليستيين أحكم وأعلم من أرنبي. فمن الزمان السببي إلى الزمان الصيروري حتى يصل في النهاية إلى الزمان الحي، نجد أن الدرب الذي يسير بنا عليه هو مسار مساريّ حقيقي وإذا كانت كلمة «موت» لا تظهر في أية لحظة، ففي الحديث عن «مصير الحياة» ينتهي كتابه.

جون ـ ديدييه ڤانسون

* * *

مدخل

لكن المسألة المحيرة هي معرفة، ما إذا كان الزمان،
بدون النفس، ربما سوف يكون موجوداً أم لا.
أرسطو
فيزياء، ٢٢٣

إن الزمان موجود ثَم، مستحوذ. ولدينا إحساس مدهش بأننا نحيا دائماً في حالة توازن على ذروة موجة، لا تتوقف عن الإنطواء، ونستطيع، بتحليلنا هذا الإنطباع، أن نميز فيه عدة مركبات.

إن **لإحدى** هذه المركبات علاقةً بنزوعنا إلى العمل. ففي الصباح نعدّ، عندما نستيقظ، أحياناً، برنامجاً لما ننوي القيام به في أثناء النهار. وحيث أننا عادة، نتأكد، في المساء، من أن هذا البرنامج لم ينفذ تماماً، فزمان العمل هذا يولّد عدمَ رضى دائماً إنه يؤجج الشعور بفرار الزمان.

والمركبة **الثانية** تستدعي شهادة حواسنا، وتحدثنا عن زمان يحدد سلطانه على العالم الخارجي، بمقدار ما تكون إدركاتنا الحسية غير وهمية. وزمان التغير هو ما تذكر به الحركات التي تعرض نفسها لأبصارنا أو إتساق الأنغام الموسيقية الذي أتيح لنا سماعه.

لكن هل من حاجة حتى إلى شهادة حواسنا؟ لندع وَعْيَنا وعيونُنا مغمضةٌ، بعد أن تكون الميلوديا (اتساق الأنغام) قد توقفت، يحومُ فوق خواء الأحاسيس هذا: الزمان لا يزال يمر؛ إنه «الزمان عينه»، أو «الشكل الذي يتخذه تتابع حالات

وعينا عندما تدع أنانا نفسَها تحيا» الذي يتحدث عنه برغسون كما عن الشكل الأكثر نقاء لحدس الزمان (الدوام).

والزمان، ما أن يتلاشى، حتى يخلّف عضته التي تقنعنا بأنه ليس لا وهماً ولا حركة من حركات النفس. فحولنا لا تتحرك الأشياء وحسب بل تشيخ، مثلما نشيخ نحن أنفسنا، ونحن لا نعيش في الزمان وحسب: نحن نستهلك الزمان، كما تحرق سيارة بنزيناً، **وبعدُ هل إن التشبيه** مغلوطٌ، إذ، بدون بنزين، تظل السيارة سيارة، لكن بدون زمان يغيب كل شيء، مثلما يحصل في السينما: إذا توقف عرض الفيلم، لا نحصل على فوتواغرافيا آنية، بل على كارثة؛ فالفيلم يحترق والصورة تضيع!

قد يبدو غريباً أن تكون تجربة بدائية في مثل بدائية تجربة الزمان وفراره قادرة على أن تكون **مادة** كتاب، يروي معطيات تاريخ العلم والمكتسبات الأقرب عهداً للبحث الحديث. إن ظواهر الحياة اليومية تحضنا على تبني موقف واقعي، بالمعنى الفلسفي للعبارة، أي، التشبث بثبات بأن الزمان يوجد فعلاً، بشكل مستقل عنا وعن خطاباتنا. بيد أن مسألة واقعية أو وهمية الزمان ليست بحال من الأحوال غير لاثقة. إن هذا الفرار الذي نعدّه بالفطرة أكيداً هو في الواقع موضوع نقاش امتد عشرات القرون. والفكر بعيداً عن أن يكون على وفاق مع الحس المشترك، الفكر الفلسفي منذ ألفي سنة والفكر العلمي منذ قرنين متجهان طوعاً نحو اتجاه آخر: الاتجاه الذي دل عليه إيمانويل كانط، الذي فيما يخصه لا يرى لا الزمان ولا المكان منتميين إلى العالم الخام - العالم كما هو حقاً، بشكل مستقل عن حواسنا - بل إلى العالم الذي تصورّه عقلنا وحسب.

منفذنا إلى ألزمان غير مباشر

من يستطيع أن ينكر بالفعل أن المعرفة التي نملكها عن العالم الخارجي يقوم بدور الوسيط فيها إدراكاتُنا الحسية، وأن الإدراك الحسي المنظم - الذي تكون الحوادث فيه مرتبة حسب الموضع واللحظة حيث تحدث -، يقتضي أن نعين إطاراً

مكانياً وزمانياً؟ ونرى ذلك، إذ حتى عندما يكون المقصود أن نتكلم عن المزايا الذاتية للعالم الغاطس في الزمان، ننطلق دائماً من الذات من التفسيرات الرمزية التي نقدمها لإدراكاتنا الحسية. بسبب ذلك، نجد بعض المشقةفي إدراك وتمييز ما ينتمي في هذا المفهوم إلى الطبيعة في ذاتها حقاً وما ينتمي إلينا، بعبارات أخرى، ما ربما يمكن جيداً أن لا يكون غير انعكاس لآليات جملتنا العصبية المركزية وآلياتنا الإدراكية. إننا بشكل طبيعي تماماً، نسائل أنفسنا عن كلية التدفق الذي يحملنا وينقلنا. فهل إن النجوم السماوية والذرات والأشياء التي تحيط بنا موجودة أيضاً في الزمان؟

من جهة أخرى، هل إن الزمان يلعب دوراً خاصاً في ظواهر الحياة؟ هل يلعب دوراً فعالاً في تطور فرد، في الإبقاء على وظائفه الحيوية دون تطلع إلى المستقبل، في ظاهرة الوعي والمعرفة المتعقلة، المشروحة - في النطاق الذي يمكن فيه أن تكون مشروحة - بتعابير الميكانيكيات العصبية؟

ها إننا موجودون حقاً في مجال فيه سبق التساؤلُ الفلسفي الإسهامَ العلمي بحصر المعنى. وفي الواقع، نعرف في هذه الأيام كم يستطيع الوعي أن يقوم بدور موشور مشوِّه على أحاسيننا الخام، ويرشحها ويكيفها مع متطلباتنا المدفونة. نعرف، مثلاً، أن نصفي كرة دماغنا تتلقى انطباعات حسية مختلفة، غير متكاملة في إدراك حسي وحيد متماسك إلا في مرحلة رفيعة نسبياً من مراحل النشاط القشري. في الواقع، أثبت عالم علم النفس العصبي الأميركي روجر سييّري أن أحاسيس متنافرة يتلقاها على التوالي الدماغان، الدماغ الأيمن والدماغ الأيسر يمكن أن نكون في آنٍ معاً، لاشعورياً، مدركة ومعترفاً بها، لكن مكبوتة، أي مرفوضة على سوية الوعي، عندما لا تتطابق مع الإنطباعات المهيمنة لدى الذات[1]. والحالة هذه، لدينا في عقلنا، بنية تنخُب الإنطباعات الحسية (الحواسية)، ونقرر بشأن ملاءمتها،

---

(١) درس سيبري في الأعوام ١٩٦٠ - ١٩٨٠، حالة عدة مرضى أجري لهم قطعٌ للجسم الثفني جراحي، بفضل حزمة الألياف العصبية هذه يتنقل الإعلام بين الدماغين الأيمن والأيسر. كان هدف العملية تقليص أو حذف عودة نوبات الصرع المستعصية على المعالجات غير الجراحية. انظر، من أجل وصف هذه الأعمال والإستنتاجات التي يمكن أن تستخلص منها على الصعيد الفيزيولوجي النفساني، على سبيل المثال، شورشلاند، P.S. و1986.

وتحولها على ما يحتمل بدون علمنا. إذ أن نكون واعين، ليس وحسب أن نكون واعين للعالم المحيط بنا، ولا أن يكون لدينا عنه تمثيل داخلي. فالأمر أيضاً وبخاصة هو أن ننظم وفي كل آن هذه الأحاسيس وفق تطلب الوحدة والتماسك الذي يتيح لنا أن نحسنَّ أننا عين ذواتنا، بفرديتنا، في ملتقى طرق هذه الكيفيات الإدراكية. وأن نكون واعين، هو في النهاية أن يتطلب واحدنا أن يكون واحداً في عالم واحد، حتى لو كان ذلك لقاء تشويه غير قابل للمراقبة أو اصطفاء أكثر أو أقل صرامة للمعلومات الخام التي تزودنا بها حواسنا. أفلا يحق لنا والحالة هذه أن نشك بشهادة حواسنا المتعلقة بفرار الزمان؟

تعريف تمهيدي للزمان

كل أنواع العقبات تتهدد خطاباً عن الزمان. ونسياننا ما تدين به معرفتنا عن الزمان إلى عقلنا، إلى ميكانيكيات الإدراك والذاكرة، ربما يكون إحداها. غير أنه، لا شيء يمنعنا من أن نصيغ في بداءة الأمر فرضية كون الزمان موجوداً بشكل مستقل عنا، وكونه بعداً أساسياً من أبعاد الواقع. وإن عقبة أخرى ربما تكون في إرادتنا أن نماثل قبلياً ذلك الزمان بالسببية أو بالأنطروبيا، المفهومين اللذين أعدهما العلم بالتعاقب من أجل فهم (وسؤال) وجهين مهمين للمفهوم الزماني الأولي. فهل إن هذين المفهومين ينطبقان على الطبيعة في ذاتها، أو الأحرى على ملاحظاتنا، أي على الطبيعة التي سبق أن أخضعت لاستجواب اجهزتنا القياسية، وفسَّرتها حواسنا، وصنِّفت وفق مقولات مجردة؟ إلى ذلك، إن كل مفهوم من هذين المفهومين بعرض على ما يحتمل وجهاً للزمان، لكن ليس لكليته. وهذا هو الأمر الذي من أجله يجب أن يكون تعريف الزمان بما هو مفهوم أولي، قدر المستطاع الأقل تشويهاً والأقل قسراً، مع احتمال أن نمتحن بعد فوات الأوان ما إذا كان يصمد للمجابهة مع معطيات العلم الراهن.

إن تعريفاً للزمان، ربما يمكن أن يكون التالي: **الزمان هو درجة حرية باستخدامها تبقي الأشياءُ على هويتها، في حين تنتقل بطريقة معينة تدعى «مآل»**

(المصير). وهذا تعريف نستطيع الحكم عليه حسب مزاجنا، أنه مبهم إلى حد بعيد أو على العكس أنه الآن جدّ جسور. إنه، في الواقع، يقتضي أن نقبل واقعية فيزيائية من نوع ما، أي وجود أشياء (مواضيع) خارجاً منا. فرجال العلم جميعاً سوف يكونون من غير شك متفقين على هذه النقطة. إذ كيف يمكن بغير ذلك التخلص من الأنانة solipsisme. من هذا المذهب الذي وفقه لا شيء أكيد إن لم يكن إحساساتنا الذاتية ولا شيء يوجد خارجاً منها؟ والأنانة تبدو غير قادرة على شرح لماذا تبدو أحاسيسنا، في مواجهة تجربة مختبرة برفقة شهود آخرين، ذات قرابة كبيرة مع أحاسيس الآخرين.

إن تعريف الزمان المقدم أعلاه يتضمن أيضاً مفهوم درجة الحرية. وفي العلوم الفيزيائية يدعى درجة حرية منظومة كل مقدار (كبر) يتيح تمييز حالتها وقابل لأن يأخذ قيماً متغيرة. مثلاً، يستطيع جزيء يحتوي عليه وعاء أن يشغل مواقع مختلفة، ويمكن أن تكون سرعته موجهة في اتجاهات مختلفة وأن يأخذ قيماً شتى، بالنسبة لميقاتية مرجعية. طبعاً، الجزيء لا «يختار» دلالات الميقاتية، والحرية المفهومة على هذا الحال لا علاقة لها البتة بقرار حر من جانبه. في الحالة الخاصة بالزمان، ما يهم هو أن درجة الحرية هذه لا يمكن أن تختبر، في أي ظرف كان، إلا في اتجاه واحد، بتعبير آخر، الزمان موجه. وخارج الإمكانية المحسوسة لاختبار درجة الحرية هذه في الإتجاه المشار إليه، فالزمان لا يوجد والحالة هذه. يجب تجنيب الإستسلام لسحر كلمات أولئك الذين يذكرون بعكس ممكن للزمان من مناطق خرافية من الكون نحو اللامتناهي في الكبر أو نحو اللامتناهي في الصغر. إن الزمان معرّف تبعاً لسهمه. فإذا كانت حرية الأشياء الكامنة في أن تمضي نحو المستقبل غير موجودة، أو إذا عكست، فإننا لا نعود نستطيع أن نتحدث عن الزمان. قبل «**الإنفجار الكبير** Big Bang» أو بعد «**التقلص الكبير** Big Crunch»، لم يكن قد وجد بعدُ أو ما عاد يوجد «أشياء» تستطيع أن تبقي على هويتها في حين تتنقل في الزمان. ولا نرى كيف ربما قد تستطيع صياغة خطاب عن الغياب الزماني الذي ربما سوف يكون، إذا صح القول، في الزمان. إن بعض جزئيات الفيزياء

النووية، في تفاعلها المتبادل، تبدو خاضعة لقوانين غائبة، حتى أن بعض الفيزيائيين قالوا بصددها أنها «ترجع القهقرى في الزمان». وتبدو، هذ الصياغة التي تذكر بزمان «بالمقلوب»، بصريح العبارة، متناقضة، ولكي نصف الظواهر التي نحن بصددها، فلا شك في أن الأفضل هو أن نستخدم مقولات أخرى غير مقولة الزمان، وأن نلجأ إلى توسيع ملائم لمقولة السببية.

الزمان، مفهوم ديالكتيكي

مفهوم الزمان مفهوم معقد، بمعنيي هذا النعت، بالمعنى الأول، هو معقد **ما يستدعي** أوجهاً متناقضة، بالمعنى الثاني، هو معقد ما هو مركب، ما يجعل عدداً كبيراً من العناصر تدخل في تفاعلات متبادلة.

لنفحص في بداءة الأمر الوجه المتناقض للزمان. فعندما نتحدث عنه، تستدعي خطاباتنا على الفور، بالتناوب أو معاً، مقولتي **الدوام والتغير**.

وفي لغات البشر جميعها، يوجد الدوام في قاعدة اختراع الأسماء. فما نسميه المواضيع (أشياء)، وما نسميه جسمنا، هي مفاهيم مجردة لوفرة أحاسيس آنية بما لها من مشترك. بيد أن العالم ليس سكونياً: فالكرة تتدحرج والنهر يجري والأمواج الصخابة تتكسر وتتدفق، والنجوم تتابع، والذرات تتفكك، والأجسام تشيخ. فحدس التغير ينضاف والحالة هذه إلى حدس الدوام. وليس، من جهة أخرى، مؤكداً، بأن لا يكون، في تجاربنا الأولى عن العالم الخارجي، التغيرُ متغلباً على الدوام. ونحن نعرف منذ اكتشافات هوبل وڤيزيل، أن بعض الخلايا في القشرة البصرية تكون جدّ أكثر حساسية بالتنبهات المتغيرة وبالأشياء المتحركة، منها بالأشياء الساكنة[1].

بشكل موازٍ لـ«ديالكتيك» الدوام والتغير هذا، ولد تطور العلم نموذجين زمانيين: **السببية والأنطروپيا**. فلندخلهما هنا لكي نؤكد جيداً على هذا التوازي.

(١) من المعلوم أن أعين، بعض الضفادع، البدائية نسبياً تكون غير قادرة على أن تحسن بذبابة صغيرة وهي واقفة لكنها ماهرة في تحديد موقعها وهي طائرة.

عندما اكتشف **غاليليه** الأهمية الأولية للزمان، أعطى الدفع الحاسم للمغامرة العلمية لفك رموز لغة الطبيعة. إن إعداد العلم الكلاسيكي منذ عهد **غاليليه**، بفضل **نيوتن** و **موبير توپس** و **لاغرونج** وحتى **أنشتاين**، كشف أحد الأسباب الأساسية لنجاح إدخال الزمان في النظرية الفيزيائية. فالزمان والمكان يكشفان معاً الحجاب عن مثال لتنظيم العالم المادي ذي قوة هائلة المثال السببي، الذي يمت بصلة قربى وثيقة من مقولة الدوام. فمن جهة، تُشتق السببية، بالفعل، من انخفاظ الطاقة، الكمية الثابتة بلا تغير في كل منظومة مغلقة. ومن جهة أخرى، تدلّ على النقصان المحتوم، نقصان الأشياء المحتوم، غياب المفاجىء (غير المتوقع). وهي في نهاية المطاف تنم عن التكافؤ المطلق بين الأسباب والمسبَّبات، بين المشتقبل والحاضر.

لكن، خلافاً لتأكيدات بعض مؤسسي مثال السببية الباته الأشد حمية، فإن المثال السببي ومفاهيم المكان ـ زمان المرتبطة به لا تستنفذ كل غنى المفهوم الأصلي للزمان. ففي الواقع، إنها تهمل حتى وجهه الأساسي: الصيرورة، والشيخوخة، وواقع كون الأشياء تسلك بثبات ومثابرة منحدر الأنطروبيا المتزايدة التي عرّفها **رودولف كلوزيوسّ**.

إن الإعتراف بانعكاس الزمان ـ صيرورة هذا كمقوِّم أصيل للشروح العلمية يعود تاريخه إلى نهاية القرن الماضي؛ وهو يشهد في هذه الأيام تطوراً شديداً. إنه في قاعدة تيرموديناميك السيرورات غير العكوسة وأخذ يُطَبّق أيضاً على علوم الحياة. في هذا المضمار، يبدو الزمان موسوماً بسمة التعقيد. فعندما نسائل بواسطة أجهزتنا تصرف المواضيع (الأشياء) الطبيعية الأكثر بساطة، الجزئيات الأولية، والذرات، والمنظومات المعزولة البسيطة، لا يظهر سهم الزمان. فهو، على العكس، يتجلى في المنظومات الكبرية (العيانية) التي تؤخذ بالإعتبار من وجهة نظر عملية من جانب التيرموديناميكا. وفي الوقت الراهن، تظل النظرية الفيزيائية غير قادرة على شرح اللاعكوسية الزمانية، إلا عند النهاية التي يتعذر بلوغها للمنظومات ذات القدّ (اللامتناهي في الكبر) اللامحدود.

هل إن الإنسان آلة لإدراك الزمان؟

تعلمنا الفلسفة وعلم النفس أن الإحساس بالزمان هو شرط أول (مقدم) لرؤيتنا المبنية للزمان. فهل إن حس الزمان خاص **بالإنسان** أم إنه بخاصة حاد لديه؟ هل يوجد فرق أساسي فيما يتعلق بهذه النقطة بين **الإنسان** والحيوانات؟ فإذا كان الزمان يوجد موضوعياً، وكان **الإنسان** يملك حدّة خاصة بالنسبة لهذا البعد من أبعاد الطبيعة، فإن التذكير به يكتسي حينذاك شهامة مزدوجة: شهامة التحدث عن **الإنسان**، في الحين الذي نتحدث فيه عن العالم.

شدد العلم التجريبي على الإستمرارية الكبرى التي تسود في العالم الحي: فالجواهر (المواد) الكيماوية متطابقة أوجد متقاربة، والتنظيم الخلوي والبناء بشكل أعضاء امران متشابهان، فالخطة تكون في معظم الأحيان مماثلة. وتكشف لنا معطيات علم الإحاثة بأن المغامرة الإنسانية قد بدأت منذ عدة ملايين من السنين، عندما حصلت بعض التعديلات التشريحية (وضع الجمجمة على العمود الفقاري، نماء القشرة الدماغية وقشرة المخيخ)، متيحة أوضاعاً جديدة واكتساب ملكات جديدة، ملكة النطق بخاصة، وحددت المسافة المتزايدة تزايداً سريعاً بين جنس **الإنسان** والرئيسات الأخرى ومع ذلك، عندما يحاول علم النفس التجريبي وعلم الأخلاق أن يقيم، على صعيد السلوك والإستطاعات الدماغية، الإختلافات التي ولدتها هذه التعديلات التشريحية الأصغرية، فإن ما يلفت الإنتباه هو عظم نتائج هذه التغيرات الضعيفة. إن انجازات حيوانات في عمليات روز تستعمل استطاعتها الإستباقية تكون هزيلة جداً، منذ أن تتجاوز الأدوار الزمانية المتضمنة عدة دقائق ولا يستبعد أن يكون الإنسان قد اجتاز عتبة وأن تكون كفاءاته قد نتجت عن قفزة نوعية، لكن طبيعة هذه العتبة تظل معتمة جداً إلى الآن.

في تطلب الوحدة نفسه الذي يميز الوعي الإنساني، بغض النظر عن الحدس النفساني للزمان المعاش، توجد مسألة الزمان. فرؤية مشهد وسماع ضجيج ومس شيء (موضوع) تتطلب مهلة زمانية من أجل أن تكون مدركة إدراكاً واعياً. في

الحالة الخام، يكون الإدراك النفساني والحالة هده مكوناً من متوالية ممزقة قطعاً: فالزمان النفساني مقطع. لكن هذه المعطيات المختلفة تحتاج، على سوية وعي أعلى، أن تكون مكامَلَة من جديد من أجل إتاحة تمثيل مستمر ومتناغم للذات وللعالم. ربما سوف يكون ممتنعاً بدون ذلك أن تعاد في فكرنا استمرارية الزمان، اللازمة لوجود الحركة ولتفسير العالم وفق مُثُل فزيائية على غرار السببية. وعلى المدى الأطول، تظهر وظيفة التكامل الزماني هذه أكثر أهمية أيضاً: الأنا مؤسسة على اليقين الحميم بأننا سوف نبقى على هويتنا لا في اللحظة المقبلة وحسب بل وفي وقت لاحق أيضاً، غداً، أو بعد عدة سنين، ويكون هذا الوعي الحاد للزمان في مركبته البعيدة قوتنا وفاجعتنا. «وحده لا ريب، من بين الحيوانات، الإنسانُ، يستطيع أن يتساءل عما سوف يفعله غداً». هاك، بلا ريب، صيغة مقتضبة لتعريف نوعية العقل البشري. من هذا القبيل، تصور الزمان هو ملكة إنسانية للغاية. والزمان ليس حتى من أجل هذا محض اختراع من اختراعات العقل.

* * *

الجزء الأول

من أين تأتي أفكارنا عن الزمان؟

الفصل الأول

اسطورة العود السرمدي وفكرة التقدم

إن علم الإحاثة لا يستطيع أن يجعلنا نعيش أفكار ومخاوف البشر الأوائل بدقة، فهؤلاء البشر الأوائل كانوا قد أخذوا يطرحون على أنفسهم بلا شك أسئلة عن الزمان في النطاق الذي كان فيه امتداد الفكر في البعد الزماني هو بدقة إحدى مميزات الأنسنة. «الإنسان، كما ورد في التوراة، رأى أنه قد كان عرياناً». ونستطيع أن نطبق هذا النص المجازي على الوظيفة الزمانية وأن نتصور الإنسان وقد أصيب بدوار بفعل وضوح التدفق الكبير الذي يعدل باستمرار رؤيته للأشياء. وحيث كان عاجزاً عن أن يقرر ما إذا كان الأمرُ أمرَ استحالة دائمة للعالم الذي يلاحظه عقله الثابت، أو أمرَ مسارٍ مجرد لعقل متغير في ديكور ثابت بلا تغيير، فقد حاول التشبث بنقطة ثابتة، بيقين ما، بمعلم ما صلب يتيح له أن يعتقد أن دوامه الذاتي ليس وهماً. ويسهل علينا أن ندرك السكينة التي تمكن أن يشعر بها وهو يكتشف، في وسط التجارب اليومية المتغيرة، وجود بعض التكرارات كدقات النبض، وتعاقب النهار والليل، وعودة الفصول. فهذه التجارب المتكررة، التي تحددها دورة أو إيقاع، وجب أن تعدَّ من بين التجارب البدائية المطمئنة.

وبديهي، أن هذه الدورات أو هذه الإيقاعات تمنح الحوادث المقترنة بها كيفية جديدة تُكسب اللاعكوسية طابع التسامي وتمنح الحوادث طابع الإستقرار والدوام. فهي (الدورات والإيقاعات) صخور شاطىء الهوية التي تبرز فوق التغيير. وهي تفتح إمكانية المقارنة، كما تفتح إمكانية تعريف قابلٍ للقياس قابل للتواصل، أي تعريف للزمان.

في غضون بناء الثقافة الكلاسيكية، دُعِيَت الدورات والإيقاعات للقيام بدور أيضاً أهم. فبتوسطها، جعل الزمانُ، وهو الصفة المقترنة بالإدراكات وبالحوادث العابرة، من نفسه أسطورة أو شخصاً. وحينذاك صار الزمان ـ الإله.

دور الدورات والطقوس الإجتماعي

كانت الدورات والإيقاعات هي الأدوات، وهي المتوسطات في الإتصال المتبادل وفي مَشْرَكَة الزمان. وقد تم تخطي هذه المرحلة الأولى بسرعة باستعمال الطقس، الذي هو التعبير الإجتماعي عن الإيقاع والدورة. فالطقس وسم وسماً عميقاً الأشكال الأولى لتنظيم المجتمع الزماني. فمنذ العصور القديمة إلى العصور الوسطى شكلت ضرورة ضبط الأوقات الطقسية وساعات (مواعيد) الصلاة دوافع قوية لملاحظة النجوم وإعداد جداول فلكية.

مع ذلك، كان للزمان الطقسي السيئة الكبرى سيئة إدخال ساعات غير متساوية. وشيئاً فشيئاً، أتاحت احتياجات التنظيمات المدنية والإنتاج الإقتصادي، وكذلك التقدمات التقنية (بناء ميقاتيات أكثر فأكثر انتظاماً ودقة) أن يُخترع، في بدايات القرون الوسطى، ثم أن يفرض، زمان مدني اليوم فيه مقسم إلى ٢٤ ساعة متساوية. وأتيح بعد ذلك تقسيم هذه الساعات المتساوية إلى أجزاء أصغر فأصغر، إلى دقائق، وثواني، إلخ..

وكلما كانت الضرورات الدينية تتيح مَشْرَكَةً للزمان، في الوقت الذي كان فيه هذا المفهوم يشيع لخدمة حاجات الحياة الإجتماعية، كان الفلاسفة ينجزون خطوة جديدة حاسمة. وبفتحهم دائرة الزمان وتحطيمهم هيمنة الدورة، أحلوا محلَّه زماناً مفتوحاً، متدرجاً وخطياً. وفي هذا النموذج الجديد، كان الزمان يستطيع أن يسترد مزايا اللاعكوسية والصيرورة الدائمة التي كان النموذج القديم قد جرده منها. وقد تغلب الزمان الخطي بسهولة. وهو لا يزال يشكل أساس عالمنا الثقافي، الأقرب إلى المفاهيم المألوفة المكائية والمسافية والمتطابق جيداً مع الشعور الحميم بجريان الزمان.

هذا التحول تم معظمه في ظل جمهورية آثنيا . ففي اليونان القديمة كان العالم الثقافي كالتنظيم العملي يوحيان نموذجاً دائرياً للطبيعة ونموذجاً دورياً للزمان . وقد أظهر جون - پيير ڤيرنان ، في كتابه أسطورة وفكر عند اليونان ، القوة المدهشة لاسطورة الدائروية هذه ، التي كانت تمارس سيطرتها في المكان كما في الزمان . ففي المكان كانت تفرض تنظيم المدينة الدائروي حول الساحة العامة . وفي الزمان كانت تعتمد على عود النهار والليل السرمدي وعلى تعاقب الفصول المنتظم .

سبق أن وجدت هذه الفكرة في قصائد هيزيود ، في القرن الثامن قبل الميلاد ، التي تُشيد بالتصور الدوري للزمان المتصل اتصالاً حميماً بالأعمال الزراعية ، وقد جعل منه منظومةً إفلاطونُ ، معلم أرسطو المباشر ونموذج الفلسفة الغربية المُحتَذى في التفكير . فلدى إفلاطون ، يوجد أصل اسطورة الدائروية في حركة كرة السماء المرصعة بالنجوم الظاهرية . فهذه الحركة الدائمة الحضور لكنها منيعة تشهد على ماهية العالم الحقيقية التي لا تتكون من مواضيع (أشياء) عرضة للتلف بل من مُثُل (أو أشكال) خالدة . لا ريب في أن حركة القبة السماوية المحتومة ليست هي الخلود ، بل دليلاً على الخلود . كتب إفلاطون في حوارية تيميه Timée : «طبيعة الموجود المثالي خالدة ولا نهاية لها ، بيد أن منح هذا النعت بكامل بهائه لخليقة كان أمراً ممتنعاً . وهذا هو السبب الذي من أجله صنع بديع الكون (الخالق) ، وقد صمم على أن يمتلك صورة متحركة للخلود عندما رتب السماوات ، هذه الصورة الخالدة لكنها متحركة طبقاً لأعداد في حين أن الخلود في ذاته يظل وحدة . وهذه الصورة ، ندعوها الزمان» .

لا نستطيع أن نستلفت الإنتباه بقوة أكبر إلى الحبل السري الذي يربط الزمان المعتبر ذاتاً قابله للقياس بضده ، بنفي اللاعكوسية الذي تؤلفه أسطورة العود السرمدي . لكوننا مجردين من معرفة الأشياء الكاملة كالخلود ، فإننا لا نستطيع أن ندرك الصيرورة إلا بوساطة الدورات ، بعدِّها ، ولا نستطيع أن نتصور الخلود إلا بوساطة التغير ، ولكوننا مطلعين بوساطة هذه الإشارات المحسوسة التي ليست سوى ظلال الأشياء الحقيقية ، علينا ، من أجل التوصل إلى معرفة الحقيقة ، أن

نتخلى عن هذه الإشارات الخداعة، وأن نتعلق بعالم المثل الأكيدة والخالدة والتي ليست الأشياءُ المحسوسةُ غيرَ انعكاس لها.

بالطبع، إن العالم الحديث رفض هذه المثالية الإفلاطونية التي توهن العزم على كل مقاربة علمية. إلا أن نسيان هذه البداية المفارقة للزمان القابل للقياس التي سبق أن كان يلفت الإنتباه إليها أفلاطون قد يسيء إلى فهم المفاهيم الحديثة المتعلقة بالزمان. ولكي ندرك فرار الزمان في تدفقه، نفتت ونعدّ دورات، كل دورة منها تكون كتحدٍّ للزمان. إن مقاييس الزمان هي دورات لا صيرورة لها، وهي نقيض الزمان، إذا صح القول.

الزمان والحركة عند أرسطو

لعل أرسطو قد أراد بسبب هذه المفارقة أن يمنح الزمان قانوناً آخر، بتحريره إياه من بداية مغلوطه إلى هذا الحد. إن قبة أفلاطون المرصعة بالنجوم ليست لا الزمان ولا انعكاس الزمان، بل هي انعكاس اللا ـ زمان بعينه. فالنجوم لا تنتمي إلى هذا العالم؛ فهي غير خاضعة لقانون التغير القاسي؛ إنها تنتمي إلى عالم الكمال والخلود، وجوهرها لا يتحمل الفساد. إن الحركة الدائرية المنتظمة، التي تولد الدورات، لا تنتمي إلى الزمان بل إلى الخلود، وبفضل عودتها السرمدية، نستطيع أن نرى النجوم المرصعة في الخلود.

يصعب تصور الجهد التجريدي الذي وجب على أرسطو أن يبذله من أجل الفصل بين الزمان والدائروية، والبحث، بفضل الحركة، عن أساس جديد لمفهوم الزمان. كان، في جمهورية آثنيا، كل شيء يقود إلى الدائرة وإلى الدورة، شكلي المكان والزمان الكاملين. لقد وجب التملص من هذه النماذج المألوفة من أجل تأكيد أن عالم الحاضرات والبشر، حتى وبما في ذلك القمر، كان يخضع لمعايير أخرى، لقوى أخرى لم يكن يلفت الإنتباه إليها أحد.

بعدئذ بزمن طويل، وجد من جديد سعي تجديدي مماثل للسعي الذي قام به أرسطو، لدى غاليليه ومن أنجز من خلفائه نص قانون العطالة، عند ما حاولوا أن

يغضوا النظر عن الثقالة الأرضية من أجل أن يدركوا ماهية العطالة. وفي الحقيقة، لم ينجح غاليليه نفسه في ذلك إلا بشكل غير تام. ففي رأيه، تتابع كرة تتدحرج على مستوٍ افقي ممتد إلى ما لا نهاية، حركتها بلا نهاية. بيد أن المستوي الأفقي اللامتناهي يقابل، حسب رأيه، غلاف الأرض الكروي عند الإرتفاع المعتبّر. وفقط التجريد التام من الثقالة، ذهنياً، يستطيع أن يتيح نص قانون العطالة الصحيح. وهذا التجريد الذي أعد خطوطه الأولى غاليليه لم يكتمل إلا على يد من تبعوه، **غاسّوندي** و **ديكارت**، كما أثبت ذلك **ألكسندر كواري**. ونادرةً هي في تاريخ الأفكار، هذه اللحظات الهامة التي فيها يجب، من أجل التخلص من تناقض، أن يرفض تسلسل الأفكار القديم والإقدام على اقتراح منابع جديدة لمفاهيم مألوفة.

لكن ما هي والحالة هذه مقاربة الزمان المحررة من الدائروية التي اقترحها **أرسطو**؟ إن نقطة انطلاق تفكيره تعتمد على تجربة الحركة، فالحركة بما هي حدث خام وإدراك حسي مباشر، لا يمكن أن تكون مقاسة. لكننا نستطيع أن نبني، انطلاقاً من تجربة الحركة، مفهوماً زمانياً يكون مقداراً قابلاً للقياس. ففي الواقع، نقيس بفضل الحركة الزمان بالطريقة التي نقيس بها المكان، بالمسافة المقطوعة. فثَم يوجد كل برنامج الميكانيك الكلاسيكي، الذي اكملته تماماً أعمال **غاليليه وبارُو ونيوتن**. بيد أن رشيمه يوجد في شكل فكر أرسطو، الذي سبق أن كان قريباً من الفيزياء الحديثة، وفي شكل قطيعة مع فكر إفلاطون الأسطوري.

أكد أرسطو في بداءة الأمر أن الزمان والحركة مفهومان بينهما صلة قربى لكنهما متغايران. فالزمان ليس هو الحركة، «بل شيء ما من الحركة». فالحركة توجد في المتحرك في حين أن الزمان موجود في كل مكان ومتماثل وفي كل شيء من الأشياء. زد على ذلك، أن الحركة يمكن أن تكون أسرع أو أبطأ، في حين أن الزمان يمضي دائماً بشكل منتظم.

لكن، يضاف إلى ذلك، أن الزمان والحركة ينطويان معاً على بعض الخواص: فهما الإثنان مستمران ومتتابعان. فاستمرار الحركة ينجم عن استمرار المكان، من قابليته للإنقسام إلى ما لا نهاية. واستمرار الحركة يسبب بدوره استمرار

الزمان، لأننا لا نستطيع، بدون استمرار الزمان، أن نتصور الحركة؛ وهذا هو ما تثبته أمثال **زينون الإيلي**. يوجد والحالة هذه، حسب رأي أرسطو، علاقة بين استمرار المكان واستمرار الحركة واستمرار الزمان.

يضاف إلى ذلك، أن الزمان متتابع، أي أنه في كل لحظة يتكرر متجدداً، كالحركة. وقد شدد أرسطو على التمييز بين **القَبْل والبَعْد**، بين برهتين، بين شكلين للحركة، مرتبين حسب السابق واللاحق، شيء ما دعاه زمان مرّ: من ثَم يأتي التعريف الذي قدمه للزمان: «عدد الحركة حسب السابق واللاحق»، فالأمر هو والحالة هذه أمر زمان رياضي وموضوعي يرتب برهتين متتابعتين ويتيح، تدريجياً، ترقيم تتابع بُرَهٍ وفق متوالية أعدادٍ متزايدة.

وعلينا أن نلفت الإنتباه إلى أن أرسطو لم يدع، في هذه المقاربة من أجل مَفْهَمَة الزمان، أي موضع للإهتمامات التقنية، إنه لا يطرح مسألة قياس واقعي للزمان. إنه، كمنظِّر، اكتشف وسيلة تعريف الزمان بما هو مقدار قابل للعدّ، لكنه تحاشى في هذا التعريف التحدث عن الزمان (الوقت) بما هو مقدار قابل للقياس، إذ يجب من أجل ذلك الإستعانة بدورات، غير أنه قام بذلك، في مرحلة ثانية، بعد أن كان قد أكد، أنه خلافاً للمظاهر، عندما تكون دورة قد مرت، وتكون الأشياء جمعيها قد عادت إلى الموضع نفسه، يكون الزمانُ قد تغير.

على هذا الحال، يكون الزمان بالنسبة لأرسطو، مفهوماً جعله ضرورياً واقع الحركة. وهذا هو العدد، أي المرجع، محور الإحداثيات الذي يجب أن تنسب إليه الحركة، بطريقة مماثلة للمكان الذي يكوّن المرجع، أو جملة المحاور الإحداثية، التي ننسب إليها الإمتداد. وفي ذلك، سبق أن اقتربت أفكار أرسطو بشكل فذ من أفكار فيزيائيين مثل غاليليه ونيوتن وديكارت. حتى أنها تذكر، من بعض النواحي، بمواقف **كانط** حول المقولات **القبلية**. وعلينا مع ذلك أن لا نبالغ حتى من أجل هذا بحداثة الزمان الأرسطو طاليسي. إنه، بالنسبة لنا، حطم الدورات المحتومة وجعلنا نفلت من لعنة العود السرمدي. إلا أن الفيزياء الكلاسيكية احتاجت إلى انتظار ١٩

قرناً كي تتوصل إلى تصور «زمان مطلق، حقيقي ورياضي»، إلى محور احداثيات شبيه بالمحاور المكانية، مفتوح على اللانهايات.

إن الجهد التجريدي الأعظم الذي أنجزه أرسطو يحمل في ذاته حدوده الذاتية. فمفهومه عن الزمان رياضي، لكنه مجرد بشكل رهيب. واللحظة التي يكرس لها عروضاً مطولة، مفهومة كحد رياضي بين القبل والبعد، بين الماضي والمستقبل، وهو لم يختبر بشكل واقعي بلوغ هذا الحد، ولا ريب بأن ذلك كان بسبب قلة دقة أجهزة ذلك الزمان (ساعة مائية، ساعة رملية، ساعة شمسية). وبخاصة، لم يختبر أرسطو العلاقات بين هذا الحد الزماني الذي هو اللحظة والحركة. فالفكرة التي كونها لنفسه عن السرعة هي، بعد كل اعتبار، فقيرة أشد الفقر، وهو يميز، في تعليمه كما في كتاباته، بين الحركات السريعة والحركات البطيئة. وقد عرف مفهوم السرعة المنتظمة، لكنه لم يعرف مفهوم السرعة الآنية.

إن أرسطو أتاح مع ذلك، بفتحة دائرة الزمان، انطلاق المفهوم الزماني الحديث، مفهوم زمان إنساني، وتاريخي، منسوب للتجربة الإنسانيةعن الحركة وعن فرار الزمان المعاش الذي لا نهاية له. وقد تصدى هو نفسه للمسألة: فقد أعلن، «إن العلاقة بين الزمان والوعي تستحق أن نتفحصها». «. . . وإذا لم يكن شيء يستطيع أن يعدّ غير الوعي، والوعي وحسب بما هو ذكاء (وليس وحسب بما هو إحساس)، حينذاك يكون ممتنعاً أن يستطيع الزمان أن يوجد بدون الوعي. . . إلا إذا لم يكن سوى الشيء الموضوعي الذي ندعوه بطريقة ذاتية الزمان، بمقدار ما نستطيع افتراض أن الحركة ربما تستطيع بهذا الشكل أن توجد موضوعياً دون أن يوجد أي وعي». إن هذه التفصيلات الجادة تظهر أن أرسطو كلن يعي العلاقة المتينة بين الزمان الفيزيائي والمدة المعاشة. من جهة أخرى، تخضع، في عالم التغير، الأشياء كالبشر لمصير، ولا غرابة، من هذه الزاوية، في أن يكون التمييز بين عالم ما تحت القمر (الأرض) وعالم ما فوق القمر يفرض نفسه بقوة شديدة: إنه يعارض كمال عالم ما فوق القمر السكوني أو الدوري، بعالم التغير أو الصيرورة لعالم ما تحت القمر (الأرض). إن الزمان الحقيقي هو زمان العالم المتغير الذي يوجد تحت

القمر، وهو عالم غير مستقر وفيه يحاول كل شيء، بلا كلل، أن يرجع بوساطة الحركة إلى الموضع (الموقع) الذي عينه له القدر[1].

سبق أن كان الزمان الأرسطو طاليسي والحالة هذه يحدد المميزات الرئيسية التي نحن راغبون بأن نعزوها اليوم إلى هذا المفهوم: ولكون الزمان متنسخاً عن زمان الوعي فيما يتعلق بقابليته للعد (إذن «متجهته»)، فهو داخل في دائرة اختصاص الفيزياء بطابعه المزدوج (بسمته المزدوجة) من حيث الحركة والصيرورة. **لكن ألم يسبق لأرسطو** أن كان يمثله لنفسه، كما فعل بعده نيوتن، على أنه مماثل للمكان، على أنه محور إحداثيات، على أنه خط مستقيم يجري من ناقص لا نهاية إلى زائد لا نهاية؟ ربما يكون الأمر، حقاً، أن يعزى لمحطم الأصنام هذا أكثر مما كان هو نفسه يستطيع أن يقدم، وحتى أكثر مما استطاع أن يقدم متابعوه شارحوه ووسطاؤه الذين كانوا هم كبار الفيزيائيين العرب، الذين من بينهم **ابن سينا** (الذي اقتربت تصوراته عن الزمان بالأحرى من تصورات إفلاطون) **والغزالي**.

كان العامل الحاسم في هذا النضال بين دورة وصيرورة لا نهاية لها على ما يحتمل، كما قد اقترح هويترو ذلك، هو مجيء المسيحية ومفاهيم تاريخية حول الفداء والخلاص الشخصي، اللذين هما غير قابلين لأن يكونا متوافقين مع اسطورة العود السرمدي. فالقديس أوغسطين، مهما بلغ من انتمائه للأفلاطونية الجديدة، ألم يكن هو من كتب في مؤلفه «**مدينة الله**»: «فقط في المذهب العميق الخاص بالزمان المستقيم نستطيع الإفلات من هذه المذاهب المتعلقة بما لا أدري أية دورات اقترحها حكماء متطرفون وخداعون..». وقد عاد **هيرفي بارو** فروى بالتفصيل

(١) التمييز بين عالمي ما فوق وما تحت القمر حدد بالتأكيد تقدماً، من وجهة نظر ظهور مفهوم الزمان الفيزيائي، لأن حركة الكرات السماوية الكاملة التي كان الفلاسفة الأقدمون يكتفون بها لم تكن تُعدّهم، بأي شكل من الأشكال، لا قبل أرسطو ولا بعده، لإدراك أهمية مبدأ العطالة، الذي هو الوسيلة الصحيحة الوحيدة لإرجاع الزمان إلى مقدار فيزيائي قابل للقياس (وليس فقط قابل للعد، كما هو الأمر لدى أرسطو). بحركة للفكر عكسية، استخدم نيوتن بعد ذلك بزمن طويل، بالضبط، قانون العطالة، الذي بنى مبدئياً بفضل دراسة الحركات المادية، من أجل شرح الحركات السماوية.

تاريخ النضوج البطيء لفكرة الزمان الخطي، نضوج عبر من خلال كتابات الفلاسفة العرب وفلاسفة القرون الوسطى الذين نقلوا مذهب أرسطو إلى عصر **النهضة**؛ من خلال كتابات **ابن رشد**، الذي كان لا يزال يرفض، على ما يبدو، من على منبره في قرطبة في أوج القرن الثاني عشر، تمثيل الزمان بخط مستقيم؛ ومن خلال كتابات **توماس الأكويني** الذي وفقّ في النهاية، بعد ذلك بقرن، بين الأرسطو طاليسية والمسيحية، ولم يظهر مفهوم الزمان الخطي المستقيم والممتد إلى ما لا نهاية والشبيه بالمكان، أخيراً، إلا بقلم جون لوك عام ١٦٩٠: «يوجد مع ذلك هذا الإختلاف البادي للعيان بين المكان والزمان القائل بأن الأفكار الطولية التي لدينا عن التوسع (المكاني) يمكن أن تدوَّر في جميع الإتجاهات، وهي بهذا الشكل ما ندعوه شكلاً، عرضاً وسمكاً؛ بدلاً من أن لا يكون الزمان إلا كطول يستمر إلى ما لا نهاية في خط مستقيم...» صحيح، أن غاليليه ونيوتن كانا قد سبق لهما أن أفشيا اكتشافاتهما للعالم. ومع ذلك، كان الفيلسوف العربي **ابن ميمون** يعلّم في قرطبة، قبل أنشتاين بزمن طويل جداً، تبعاً لحدس ومّاض ونذير، في القرن الثاني عشر، بأن الزمان ما هو غير تجلي المادة، وبأنه لم يكن موجوداً قبلها!

* * *

الفصل الثاني

اختراع مفهوم السرعة الآنية

رغم فتح دائرة الزمان، بقي الزمان في القرون الوسطى خاضعاً للدورات إلى حد لا يستطيع معه توليد الميكانيك الحديث: لم تكن الفجوة بين اللحظة، التي هي حد تجريدي بين الماقبل والمابعد، وبين انتظام الحركة الدورية، ممكناً ردمُها بسهولة، ولا شك في أن لا شيء يوضح هذه الصعوبة إيضاحاً أفضل من دراسة استيعادية لنشأة مفهوم السرعة.

إن السرعة الآنية هي، بالنسبة لإنسان القرن العشرين، مفهوم مألوف، يكاد أن يكون مباشراً، يجعله ملموساً عداد سيارته. وهذا الطابع المألوف عائد في معظمه إلى طريقة الحياة الحديثة، إلى الدور الذي تمثله في مشاغلنا وسائط النقل الإصطناعية والنضال الدائم الذي نخوضه ضد الزمان الضائع. وقد اعتقد بعض علماء النفس، المنخدعين على ما يحتمل بهذه الحالات الخاصة، أنهم يرون في السرعة مفهوماً حتى أكثر بدائية من مفهوم الزمان، إلى حد أن أحدهما ربما يكون مشتقاً من الآخر في أثناء نماء الطفل: «فنحن لا نرى ولا ندرك الزمان أبداً على هذا الحال، إذ، أنه على عكس المكان أو السرعة، لا يقع تحت الحواس». وهذا الإستنتاج، المستخلص من دراسة حول تطور الأطفال النفساني في الحضارة المعاصرة، لم تؤكده دراسة تطور مفهوم السرعة في غضون تاريخ العلوم. فهذا التطور، على النقيض من ذلك، يظهر أن اكتساب هذا المفهوم في معناه الحديث كان عسيراً وشاقاً.

لنذكر بأن السرعة هي معلم (ثابتة parametre) مجرد نقرنه بمتحرك معين من أجل وصف حالته الحركية في لحظة معينة على مساره. وتكون معرّفه فيزيائياً على أنها النهاية، بالنسبة لفواصل زمانية تتناهى إلى الصفر، نهاية النسبة بين المكان (المسافة) المقطوع والزمان اللازم لقطعه (المستغرق في قطعه). ولكي نفهم ذلك فهماً تاماً علينا أن نسلّم بإمكانية تقسيم المسافة المقطوعة خلال الزمان المستغرق في قطعها. والحال هو أن المدة والمسافة هما مقداران لا قياس مشترك لهما من وجهة نظر الفيزياء الكلاسيكية. وقد لزم والحالة هذه إدخال مقدار جديد، من طبيعة أخرى غير طبيعة الطول والزمان. كما وجب أيضاً أن تقلل بالتدريج الفواصل المقاسة أو المتخيلة إلى أطوال لا متناهية في الصغر. وقد احتاج الأمر، من أجل ذلك، إلى أن نفهم ونناقش مفهوم اللحظة في علاقاتها بالزمان.

طبيعة اللحظة

يقتضي إدراك كل مدة أن نتفحص شريحة زمانية معاشة، بحيث تقارن في الذاكرة الأوضاع النهائية والإبتدائية، ومن ثَم تأتي صعوبة التسليم بفكرة فاصلة زمانية تتناهى إلى الصفر. مع ذلك، وضح برغسون نوعية الزمان الواعي بالنسبة للمكان: الحاضر يحتوي الماضي في حين أن نقطة من خط مكاني لا تحتوي أية نقطة أو نقاط تسبقها. وإلى الآن ما زال بعض الفلاسفة والإيبيستيمولوجيين يقترحون بانتظام إدخال ذرية زمان... وتبدو هـذه الفواصل الزمانية واللحظات الرياضية من طبيعتين مختلفتين اختلافاً نهائياً، وحتى متعارضتين. من وجهة النظر هذه، يمكن أن يبدو البرنامج الإيبيستيمولوجي المرتكز على استنتاج اللحظات الرياضية من الفواصل الزمانية بانتقال إلى النهاية الحدية مشروعاً غير لائق. لقد كان المشروع كذلك بالتأكيد في نظر القدماء، لا سيما وأن أجهزة قياسهم للزمان، ساعة شمسية، ساعة مائية، ساعة رملية، نادراً ما كانت مصنوعة من أجل قياس فواصل قصيرة، بل الأحرى من أجل إدراك مرور الساعات والنهار والليل بهدوء.

إن صعوبة تصور السرعة الآنية، مقترنة بغياب تقنيات لقياس الوقت ملائمة، قد كانت أسباباً عظمى لركود النظرية الفيزيائية في الفترة الممتدة ما بين العهود القديمة وعصر النهضة. وقد وجب، من أجل التغلب على هذه الصعوبة، في فترة زمانية أولى الإستعانة بحيلة: أن نستبدل، في كل مرة يكون فيها ذلك ممكناً، الحركة الواقعية ذات السرع المتغيرة، بحركة مثالية ذات سرعة ثابتة، لكنها مكافئة للسرعة الواقعية، بالنسبة للمسألة المطروحة. ويظهر تاريخ الفيزياء قبل غاليليه وحتى عهده ذلك بوضوح: ففي اتجاه هذه الحيلة استطاع فيزيائيّو **العصور الوسطى وعصر النهضة** بالتدريج أن يتصدوا، بعد قرون من الخضوع للتقاليد الأريسطوطاليسية، لدراسة حركات ذات سرع متغيرة ولدراسة سقوط الأجسام.

تحليل الحركات الفيزيائية

ناقش أرسطو، في خطابه الخاص بالفيزياء، الشروط التي يوجد فيها جسم في حالة حركة. وقد ميز بين الحركات الطبيعية (التي تسببها الثقالة) وبين الحركات العنيفة (التي ينتجها أو يبدلها قوة تسلّط على الجسم)، وجدَّ في دحض حجج ومحاكمات مريدي ديموقريطس الذين يرون أن إمكانية الحركة تتطلب وجود الخلاء. ميز أرسطو بين حركات سريعة وحركات بطيئة. بيد أنه لم يقطّع الحركة ولم يحللها: إنه نظر إليها ككل، من ثَم جاء الطابع المحدود لمفاهيمه حول السرعة.

سلم أرسطو، وهو يتفحص سقوط الأجسام، بأن سرعة جسم يسقط سقوطاً حراً لا تتعلق إلا بوزنه وبمقاومة الوسط. فهي والحالة هذه ثابت حركة سقوط هذا الجسم، على الأقل ما دام هذا الجسم بنتشر في الوسط نفسه. وهذا الثابت مرتبط بشروط التجربة: وهو ينتمي في آن معاً إلى المتحرك وإلى الوسط الذي يجتازه. بخاصة بالنسبة لوسط معين، لا تتوقف سرعة الحركة الطبيعية

لجسم، التي تقيس نزوعه الطبيعي إلى اللحاق بالموقع الذي يتطلبه تناعم العالم، إلا على الجسم المعتبر. وهي تشكل مميزاً للجسم (كالكتله)، وليس متغيراً حركياً[1].

إن السرعة التي عُدَّت ثابت حركة أثرت بالتأكيد على علماء الفلك اليونانيين، وبخاصة بطليموس، حين صاغ نظرية أفلاك التدوير Epicycles: إن ظاهر حركة الكواكب غير المنتظم ما كان يستطيع أن يكون غير نتيجة تركيب عدة حركات دائرية، كل واحدة منها تتم بسرعة ثابتة، بهذا الشكل، أمكن لقاعدة الإنتظام، بطريقة من الطرق، أن تنجو. كان يكفي أن تؤخذ بالحسبان عدة حركات منتظمة: حركة الكوكب على فلك تدويره، حركة الكرة التي تحمل مركز فلك التدوير، إلخ.

ويجب على ما يحتمل أن يعزى الحدس الأول للسرعة على أنها متغير حركي إلى غليوم دوكَّام، الذي تساءل في حوالي عام ١٣٢٠ عن المسافة التي سوف يقطعها متحرك خلال زمان معين، لو تركنا الحركة تستمر دون تبدل. مهما يكن من

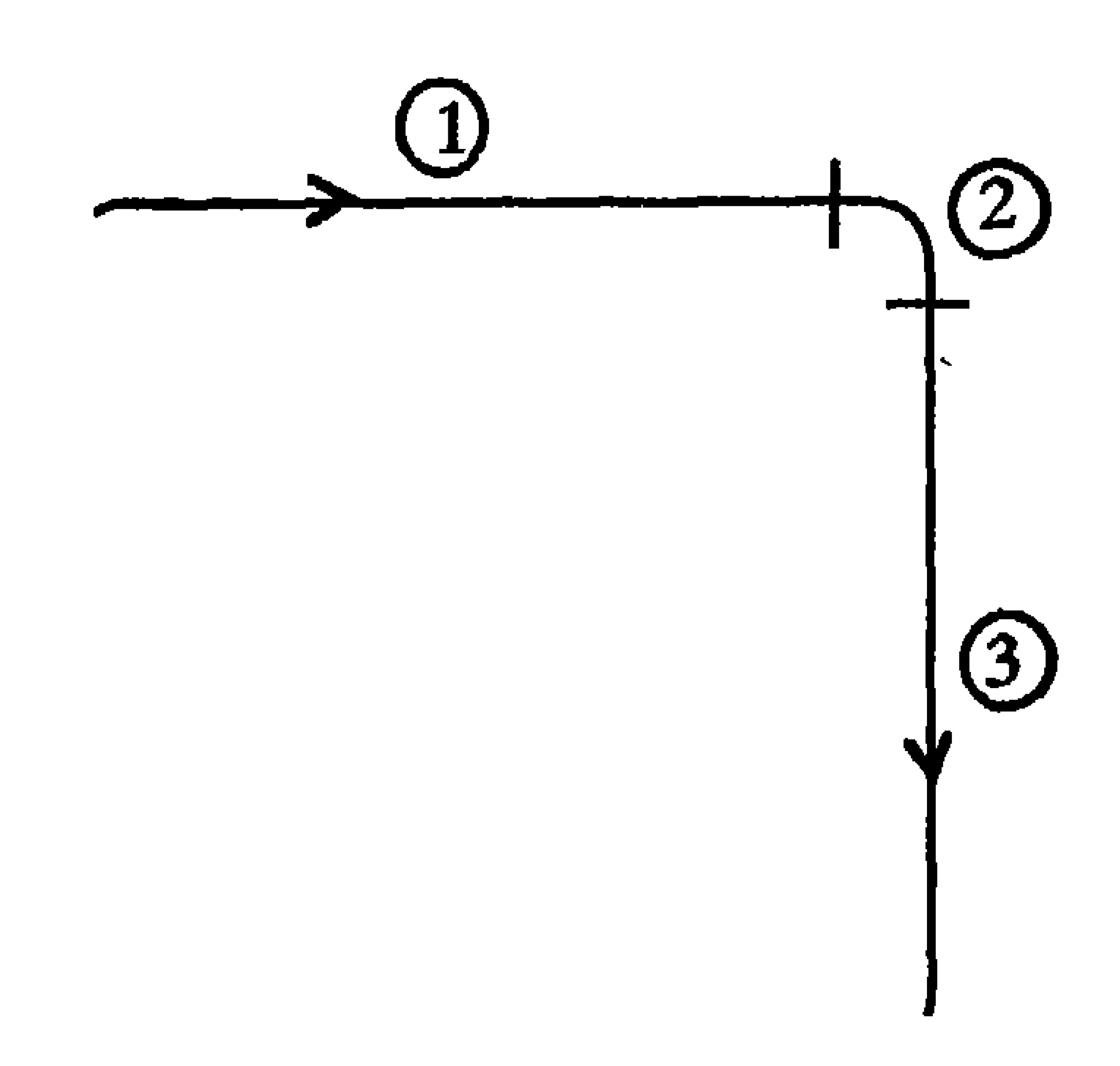
(١) إن تاريخ الديناميكا في فيزياء العصور القديمة والوسطى مرويّ في كتاب كرومبي (١٩٥٩). والقانون الذي طرحه أرسطو من أجل شرح الإختلاف السرعي بين شتى الحركات هو التالي: كلما كان الجسم ثقيلاً أو كلما كانت القوة المطبقة علية كبيرة كلما كان قطعه لمسافة معينة أسرع. أضف إلى ذلك، كلما كبرت مقاومة الوسط الذي يجتازه الجسم، كلما كانت سرعته أبطأ. وبتعابير رياضية حديثة نكتب سر=ك (ق/م). السرعة سر تتناسب طرداً مع القوة ق وعكساً مع مقاومة الوسط م وك هو ثابت التناسب. طبعاً، إن أرسطو لم يكتب هذه المعادلة، إذ بالنسبة له كما بالنسبة لجميع اليونانيين، كان حساب النسبة بين مقدارين لا قياس مشترك بينهما لا معنى له، كما هو الحال بالنسبة للـ «قوة» والـ «مقاومة». للسبب نفسه، لم يكن يستطيع أن يكتب السرعة كنسبة بين المسافة المقطوعة والزمن اللازم لقطعها.

فيما بعد، عدل القانون الذي طرحه أرسطو، لأسباب شتى، بخاصة على يد شارحيه العرب الذين كانوا ينقضون فكرة استطاعة متحرك أن يبلغ سرعة لا نهائية باعتبارها غير معقولة. وهذا هو مع ذلك ما يتنبأ به قانون أرسطو في الحالة التي تنعدم فيها مقاومة الوسط، مثلاً في الخلاء. وإذا تجاوزت مقاومة الوسط القوة المطبقة على جسم، فهذا الجسم يظل ساكناً، في حين أن قانون أرسطو يتنبأ أيضاً بسرعة غير معدومة.

لهذه الأسباب، اقترح ابن رشد وأقونياس قانوناً آخر تكون السرعة فيه متناسبة مع الفرق بين القوة الدافعة وبين المقاومة، بدلاً من أن تكون متناسبة مع النسبة بينهما سر=ك (ق-م). فيما بعد، عدل فيزيائيو أوربا في القرون الوسطى من أمثال **أوريسم، بوريدان، ألبيردي ساكس** قانون أرسطو، لكي يأخذوا بالحسبان الإعتراض الثاني، وقد طرحوا القانون سر=ك لغ (ق/م)، في شكله الضمني طبعاً. فالأمر حصل قبل اختراع اللوغاريتم. وهذا القانون يدل على أن الجسم يكون في حالة السكون عندما تكون مقاومة الوسط مساوية للقوة المطبقة عليه.

أمـر ، فـقـد كـان لا يزال علينا أن نقطع طريقـاً طـويلاً يمتـد بين هذا الحـدس الأول والتعبير الأول للسرعة الذي عرفه نيوتن.

ومن المفيد أن نتابع مختلف مراحل هذا الإكتشـاف. حينذاك نشاهد تقطيعاً للحركة أكثر فأكثر تصغيراً للأجزاء. وقد ميز ألبيردي ساكس، في حوالي عام ١٣٥٠ ، بين ثلاثة مراحل لوصف حركة حجر قذف بقوة أفقياً.



ـ في بداءة الأمر، يتم الحجر «حركةً عنيفة» (بالمعنى الأرسطو طاليس) بتأثير الدفعـة الأفقيـة البـدئية، وحسب رأي أرسطو، لا يمكن أن تتطابق حركتـان في المتحرك، لذلك يكو ن المسار أفقياً خلال المرحلة الأولى.

ـ مع ذلك، تستهلك مقاومة الهواء بالتدريج «الدفع» البدئي الذي طبق على الحجر. حينذاك تتدخل مرحلة انتقالية قصيرة في غضونها تدع الحركة العنيفة الأفقية المجال لحركة طبيعية شاقولية، بها ينجذب الحجر نحو موضعه الطبيعي بتأثير الثقالة الأرضية. وهذه المرحلة الإنتقالية، العجيبة بلا ريب، لأنها تتضمن تراكب الحركتين، لم يشرحها البيردي ساكس الذي ألح على قصرها وحسب.

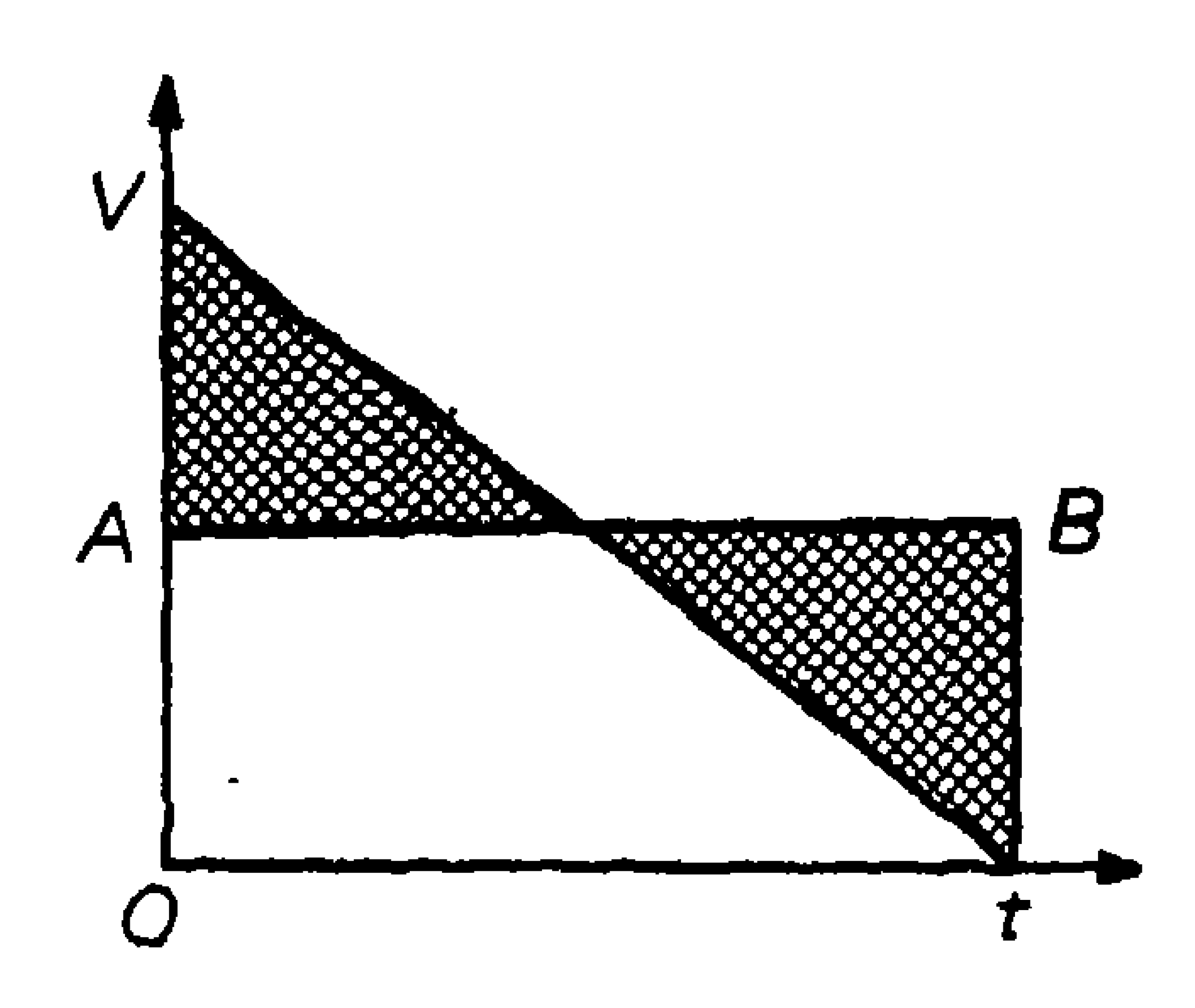
أخيراً تتدخل مرحلة ثالثة، عندما تكون الجاذبية الأرضية قد استعادت كل

حقوقها، حينذاك يتابع الحجر الحركة التي تميز الأجسام الوازنة، والتي لا يحللها **البيردي ساكس** أكثر.

في المرحلة نفسها تقريباً، شرع **أوريسم** بدراسة حركات غير منتظمة. وأستخدم قاعدة تركيب السرع (قاعدة متوازي الأضلاع، التي وفقها يمكن أن تتواجد في الجسم نفسه حركات شتى، حينذاك تنضاف السرع المقابلة لها شعاعياً إلى بعضها البعض) وتركيب السرع كان قد سبق أن أدخله **جوردانوس** في القرن السابق. وقد تخلى من ثَم بشكل واضح عن تعليمات أرسطو بخصوص وحدوية الحركة. واستخدم بشكل جلي جداً قاعدة تركيب السرع في دراسة حركة الأجسام المتحركة التي تخضع في الوقت نفسه لحركة طبيعية ولـ «حركة عنيفة». لقد دحض بخاصة الأعتراض الذي كان يقدم عادة، في ذلك الحين، من أجل نفي دوران الأرض. كان أنصار ثبات الأرض يقولون، عندما يُرسل سهمٌ في الهواء شاقولياً، فإنه يسقط من جديد على قدم من أرسل السهم؛ وعليه، إذا كانت الأرض تدور، في غضون انطلاق السهم، فإن الأرض تستمر في دورانها ويستمر صعيد الأرض في حركته، بحيث ربما لا يكون مفروضاً أن يسقط السهم من جديد على قدم من أرسله. وقد رد عليهم أوريسم بأن السهم الذي يرسله الرامي، شأنه شأن الرامي نفسه، يُسهم في حركة الأرض وأن على حركة الدوران هذه أن تكون دوماً مركبة من الحركة الشاقولية التي فرضها مرسل السهم والثقالة الموجهة نحو الأعلى أو نحو الأسفل، فالسهم يعود بالضبط إلى النقطة التي منها كان السهم قد أرسل، لأن المركبة الأفقية لحركته مطابقة لحركة صعيد الأرض الأفقية.

أيضاً في غضون القرن الرابع عشر ظهر للمرة الأولى، في كتابات رياضيين مدرسيين، التعبير الحديث عن السرعة باعتبارها نسبة بين المسافة المقطوعة والزمن الذي استُغرق في قطعها. وللمرة الأولى درس أو ريسم نظرية الحركة المتسارعة بانتظام، أي حيث تزيد حركة المتحرك أو تنقص بانتظام في أثناء الزمان.

لقد مثل هذه الحركات بمستقيم، في رسم بياني، عليه تكون السرعة والزمان على التوالي ممثلين على أنهما ترتيب وفصل.

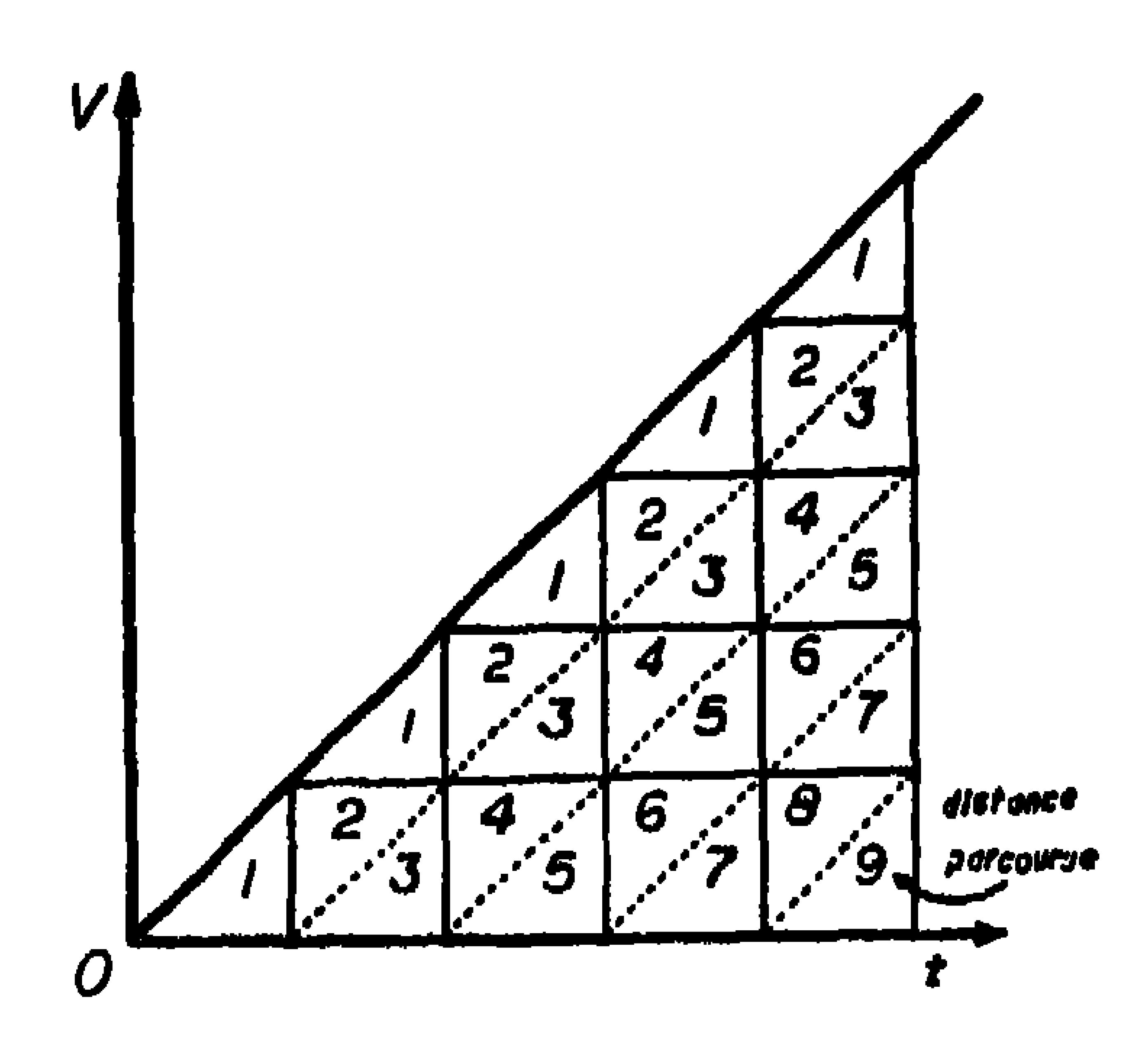


إنه يُظهر أن المسافة التي يقطعها المتحرك بين اللحظة صفر (حيث تكون السرعة سر) واللحظة ز (حيث تكون السرعة صفر)، مساحة المثلث ovt، هي المسافة نفسها التي يقطعها متحرك حركة منتظمة بسرعة $\frac{\text{سر}}{٢}$ (= $\frac{V}{٢}$) (مساحة OA B t). وبهذه الواسطة إذن أرجع أوريسم دراسة الحركة المتسارعة بانتظام إلى الدراسة، التي سبق أن كانت معروفة، دراسة الحركة المنتظمة. وهذه التقنية فتحت الطريق إلى دراسة حركات متغيرة أكثر عمومية. فهذه الحركات الأخيرة يمكن دائماً أن تقسّم إلى شرائح زمانية قصيرة قصراً كافياً لاعتبار أن المتحرك يكون، خلال كل شريحة منها، متحركاً حركة منتظمة.

استخدم غاليليه هذه الفكرة استخداماً منهجياً عندما باشر دراسة سقوط الأجسام.

غاليليه وسقوط الأجسام

أثبت غاليليه، باستخدامه محاكمة أوريسم، في رسالة موجهة إلى پاولو سارپي في عام ١٦٠٤، أن جسماً متحركاً حركة متسارعة بانتظام، يقطع، عندما تكون الحركة مقسمة إلى أجزاء زمانية متساوية، أجزاءً مسافية تكون فيما بينها كالأعداد الفردية: ١، ٣، ٥ الخ.؛ الأمر الذي يعني، بتعبير آخر، أن المسافة المقطوعة منذ اللحظة صفر تزداد كمربع الزمان الذي استُغرق في قعطها.



علينا أن نلاحظ أن غـاليليـه، في هذا الوصف، يجـزىء أجـزاء الحـركـة المتسارعة إلى أجزاء زمانية أصغر بحيث تكون، في غضون كل جزء منها، الكـميّة ذات الدلالة هي سرعة المتحرك المتوسطة.

لقد كان بالضبط على هذه السوية، سوية تقسيم الحركة إلى مدد أكثر فأكثر قصراً (ما يعلن الفكرة النيوتونية الحركية على أنها النهاية التي تتناهى إليها النسبة بين المسـافة المقطوعة والزمـان الذي استُغرق في قطعهـا) أن أدركنا التـوازي بين تطور الأفكار الخاصة بالزمان وبين تطور تقنيات قياس الزمان. والحقيقة، إن تصور أجزاء زمانية أكثر فأكثر قصراً معناه أن نتصور، إن لم نقل نحقق، قياسات مهل زمانية أكثر فأكثر قصراً. وليس مؤكد أن يكون غاليليه نفسه قد حقق بالفعل تجاربه الشهيرة على المستوي المائل. ومع ذلك فهو يصفها بتفـاصيل كثيرة، كما لو أنه كان يسعى لاقناع القارىء بالإمكانية العملية للتقطيع الذي يخضع له الحركة.

لقد استعمل غاليليه كرة خشبية، ومستوياً مـائلاً (لوحاً خشبياً محزوزاً في وسطه، بحيث تتبع الكرة عندما تترك خط الميل الأعظم)، ومقـيـاسـاً للزمـان. ومقياس الزمان هـذا كان مكوناً من ساعة مائية، أي من إناء مملوء ماءً مثقوب في قاعه ثقباً مجهزاً بصنبور (حنفية). وترتكز التجربة على ترك الكرة وفتح الصنبور،

في الوقت نفسه، ثم غلق الصنبور في اللحظة الذي تكون فيه الكرة قد قطعت المنحنى بأكمله. وتجدد التجربة في فترة زمانية ثانية حيث لا يعود يستخدم طول لوح الخشب بأكمنله، بل ربعه. ويقيس وزنُ الماء المتجمع الزمانَ الذي مر. وقد شاهد غاليليه حينذاك بأن ما يسيل من ماء يكون أقل بمرتين، وبالتالي يمرز من أقل بمرتين. ينتج عن ذلك، أن المسافة المقطوعة تتغير كتغير مربع الزمان الذي استغرق في قطعها. من الناحية التقنية، لم يكن يستطيع أن يفعل ما هو أفضل من ذلك، وسوف لن يسعى إلى وصف تجربة تتضمن تقطيعاً للحركة أدق من ذلك.

السرعة الآنية وتقدم صناعة الميقاتيات

أصبحت، في القرن الخامس عشر، التقدمات التقنية حاسمة في سيرورة مفهمة السرعة. وقد استعمل برنارد وولتر ميقاتية ميكانيكية مجهزه بدولاب مسنن ذي ٥٦ سناً، الأمر الذي كان يتيح له أن يقدر مهلاً زمانية من رتبه الدقيقة (مفهومياً، كانت الدقائق والثواني قد أدخلت منذ القرن الرابع عشر). لكن فقط بعد تطبيق النواس في صناعة الميقاتيات، وفق فكرة غاليليه (هويغنز، ١٦٥٧)، بُدىء بامتلاك مقاييس زمانية حقيقية. ومنذ عام ١٦٥٨، عرض هويغنز ميقاتية ذات نواس مجهزة بثلاث إبر (عقارب): فإلى جانب عقربي الساعات والدقائق، ظهر عقرب الثواني. وفي غضون العقود التالية، تلا تعميم قياس الزمان، بما يقرب من ثانية، تطور ساعات هي مقاييس للزمان ذات نابض وذات رقاص حلزوني. وقد كان بالضبط في ذلك العهد أن أتم نيوتن اكتشاف المفهوم الحركي للسرعة الآنية.

* * *

الفصل الثالث

خطأ لغاليليه مرموق

كان العلماء الفلاسفة في القرون الوسطى، كما رأينا للتو، يجدون صعوبات جمة في تصور اللحظة. فانعام النظر إلى مدد أقصر فأقصر، حتى النهاية التي تكوِّنها اللحظة، كان يتطلب منهم جهداً تجريدياً شاقاً حتى أنهم كانوا يكادون لا يستطيعون أن يستندوا، من أجل غزو العقل هذا، على عادة تقنية: فقياس فواصل زمانية قصيرة خارج استطاعة ميقاتياتهم.

إن بساطة ميقاتيات ذلك العهد كانت بلا شك مسؤولة جزئياً عن البطء الذي اتصف به وعي مؤسس العلم الحديث للدور الأساسي الذي كان يجب أن يُعزى للزمان في النظرية الفيزيائية. في هذا الصدد، ليس من مثال أشد إقناعاً من مثال المسار البطيء الذي سلكه غاليليه كي يكتشف قانون سقوط الأجسام. كان يجب في الواقع أن يتم التخلي عن الأوصاف الهندسة البحتة التي كانت ذات حظوة حينذاك وأن يمنح الزمان دوراً مركزياً من أجل وصف الحركة، ولا تشكل، من جهة أخرى، تلمسات غاليليه وأخطاؤه البدئية حول هذه النقطة حالة منعزلة. فليونارد دي ڤانسي وديكارت، إذا اكتفينا بذكر من أشار إليهم ألكسندر كواري، ارتكبا في العهد نفسه أخطاءً مماثلة. إن تكرار هذه الأخطاء يظهر جيداً صعوبة الإنتقال من نظرية للطبيعة مؤسسة على المكان إلى وصف مؤسس على الزمان، واهمية هذا المنعطف في تاريخ الفكر العلمي.

غاليليه، ناقد أرسطو ومريد أرخميدس

تحدث غاليليه، قارىء الفيزياء في پادو في عام ١٥٩٥، عن الحركة «الطبيعية»، التي، حسب رأي أرسطو، تستدعي كل شيء نحو موضعه شبه

العضوي، وبصورة خاصة كل الأجسام الوازنة نحو جوف الأرض، حتى أعمق ما تسمح به لانفاذيتها. وفي الحقيقة غدا ينتقد أرسطو الذي لم يفتش أو لم لعرف كيف يكتشف وصفاً كمياً للحركة واكتفى بشرح غائي، كما لو كانت الأشياء تخضع لمشروع، على غرار البشر. فذهنه الأبي كان على ما يحتمل قد غدا يجذبه إلى أن يبوح لبعض المريدين بشكوكه بصدد منظومة بطليموس الكوسمولوجية، التي كانت تفرض عليه تعليمها البرامجُ. إن جدة خطابه، والحميه التي يستخدمها لإعلان إمكان وضرورة وصف كمي، وثقته فيما يتعلق بإمكانات ترجمة الظواهر الطبيعية بتعابير رمزية رياضية وأن يبرهن بصدد الطبيعة بواسطة أشكال هندسية، قد جذبت مستمعيه، ألا يعتقد المرء أنه يسمع في هذا الخطاب شكلاً مسبقاً لمناجاة انشتاين، وقد أدهشته المعقولية الرياضية للطبيعة؟

قرأ غاليليه أرسطو وإفلاطون، لكنه قرأ أيضاً **أرخميدس**، وأرخميدس أصبح ملهمَه الرئيس، ومن المحتمل أن تكون قد وقعت بين يديه مقالات أرخميدس في نسختها اليونانية الأصلية، التي عثُر عليها في القسطنطينية واحتفظ بها في إيطاليا في القرن السادس عشر أسرةُ الإنساني الإيطالي **لورونز ڤاللا**. ومن السهل أن نتصور السحر الذي مارسته عليه قراءة مثل هذه المقالات، التي اكتشف من خلالها أن الهندسة هي الفن، هي الوسيلة والمكان حيث يجد العقل أدلاء صدق، بعيداً عن خطابات الفلاسفة المدرسيين اللفظية والمبهمة. إن الطبيعة، في حقيقة ماهيتها، تخضع لمبادىء إمكانية الإستنتاج العقلية، كما نصادفها في الهندسة.

إن غاليليه استخلص من تعليم أرخميدس فلسفة حقة للمنهج العلمي: يجب أن لا تفتش في النظرية الفيزيائية عن تحليل وعرض مفصل لمظاهر الظواهر. فهذه المظاهر يمكن أن تكون خداعة. إنها تستطيع أن تخفي تحت نقاب الجواز والمصادفات والتشويشات أن تخفي وقائع مضمرة تخضع للعقل الرياضي. إن الطبيعة التي يجب أن نكشف القناع عنها هي هذه الطبيعة المثالية التي تنضم، في ذهن الفيزيائي، إلى العلم الكامل الذي تكونه الهندسة. ويجب والحالة هذه أن

نبحث عن المبادىء القابلة لأن تُصيَّر رياضية التي تشكل ماهية الأشياء، وسوف تقدم معرفة هذه المبادىء شرح الظواهر، وسوف تتوضح التفاصيل غير المفهومة.

إن ايبيستمولوجيا غاليليه مُعبَّر عنها بوضوح في العمل المثير للجدل Ip Saggiatore (معايِر العملة) الذي نشره في وقت لاحق من أجل الرد على انتقادات خصومه: «إن الفلسفة مكتوبة في هذا الكتاب الكبير جداً الذي يظل باستمرار مفتوحاً أمام العيون (وأعني **الكون**)، بيد أنها لا يمكن أن تفهم إذا كنا لا نمتلك قط اللغة وإذا كنا نجهل الحروف التي كتبت بها. فهذه الفلسفة كتبت بلغة رياضية؛ وحروفها هي مثلثات ودوائر وأشكال هندسية أخرى، ويمتنع علينا بغير واسطتها أن نفهم بطريقة إنسانية بعض الكلام؛ وبدونها لا نفعل شيئاً سوى أن نضل عبثاً في نية معتم».

إن غاليله، عندما شرع للمرة الأولى في دراسة سقوط الأجسام، استعمل على الفور هذه المقاربة، متخذاً محاكمات أرخميدس كنموذج، فهو يفتش عن مبدأ. وعن هذا المبدأ ينتج، بواسطة تبديل تماثلي، شكل هندسي بالاستناد عليه سوف يستطيع أن يحاكم من أجل اكتشاف قانون الحركة. على هذا الحال كان أساس المنهج الذي صيره منهجه.

إن أرخميدس كان، في دراسته للأجسام الطافيه، قد أدخل المبدأ الذي ظل اسمه مقترناً به: الدفع الذي يتعرض له جسم طافٍ (عائم) يساوي ويعاكس وزن حجم الماء المزاح. فلماذا لا يكون الأمر على هذا الحال في الهواء أيضاً؟ لقد اختار غاليليه والحالة هذه، في مرحلة أولى، نقل مبدأ أرخميدس في توازن السوائل إلى سقوط الأجسام. وقد عرض هذه الفكرة في مؤلفه الأكاديمي De Motu الذي كان قد كتبه في بيزا آنفاً منذ عدة سنوات. ففيه شطر رأي أرسطو، الذي كان يميز بين الأجسام الوازنة المنجذبة نحو الأسفل، والأجسام الخفيفة، المنجذبة نحو الأعلى. وقد شرح الأمر بقوله، ليس ذلك كله سوى مسألة اختلاف في الوزن النوعي: فالجسم الأثقل من الهواء يهبط، والجسم الأخف من الهواء يرتفع. والسرعة التي

تهبط بها الأجسام الوازنة تكون، والحالة هذه، تابعاً لأوزانها النوعية النسبية. فلو كانت كل الأجسام التي تحيط بنا تهبط في الخلاء، فربما سوف لن يكون لسقوطها غير سبب وحيد (الثقالة)، وربما كانت، والحالة هذه، سوف تهبط جميعها بسرعة منتمظة، لأن سبب حركتها ثابت (فسبب ثابت، كما يعلمنا ذلك أرسطو، لا يستطيع في الواقع إلا أن يقود إلى مُسبَّبات ثابتة). بيد أننات نعرف بالتجربة أن الأجسام لا تهبط بسرعة منتظمة: فهي على العكس تهبط بسرعة متناهية، على الأقل في بداية سقوطها. وهذا ينتج عن المبدأ المفترض، إن الأجسام الفاطسه في الهواء، في بداية حركتها «اختزنت» خفة تساوي وزنها (تساوي لأنها كانت ساكنة). وهذه «الخاصة» المختزنة قبل سقوط الأجسام، الخفة، هي ما يعارض ويؤخر الحركة في طورها البدئي، إلا أنها تنفد بالتدريج بحيث تكون النتيجة الإجمالية هي تسارع الحركة.

واحسرتاه، إن المبدأ المفترض لا يقود، بواسطة تبديل هندسي، إلى قانون رياضي واضح ويمكن التحقق منه تجريبياً، فغاليليه لم يستخلص، في عام ١٥٩٠، من تفسيره الهيدروستاتيكي لحركة سقوط الحصى غير إرشادات كيفية، كتسارع الحركة التدريجي، حتى أن تفسيره قاد إلى أباطيل أكد تأكيداً حاسماً أنها موافقة للتجربة: الأجسام الخفيفة ـ التي تختزن، نظراً لوزنها النوعي، قدراً من خاصة الخفة أقل من الأجسام الثقيلة ـ عليها في بداية سقوطها أن تهبط بسرعة أكبر من سرعة هذه الأجسام الثقيلة. لم يكن غاليليه في هذه المرحلة قد امتلك الإيمان بالوقائع. فهذا ينبغي أن يكون هكذا كان لا يزال متفوقاً على هذا هو.

يصعب التحقق بشكل أكيد من هوية الحوادث التي قادته أخيراً، في بداية سني ١٦٠٠، إلى التخلي عن المبدأ الهيدروستاتيكي كمبدأ شارح لسقوط الأجسام. ويحتمل أن يكون قد وعى، وهو يهذب تجريبه، الفوارق الكبيرة بين ما كان يرجو أن تكون الطبيعة قد فعلته وبين ما تفعله بالفعل. وقد عثِر في مكتبة فلورانسا، على أوراق لغاليليه يبدو عليها ظاهراً نتائج دقيقة لتجارب على المستوى المائل. بيد أن تاريخها الصحيح، شأنه كشأن تفسيرها المفصل، ظل ينطوي على ضعف بالنسبة لصحته.

على كل حال اقترح غاليليه في عام ١٦٠٤ مبدأ شارحاً آخر وأعلن في الوقت نفسه أنه يحوز على القانون الرياضي لسقوط الأجسام الذي ينتج عنه هندسياً، كما أعتقد أعلن غاليليه، عن هذا الإكتشاف المزدوج، لحاميه وصديقه پاولو سارپي، عالم لاهوت من البندقية.

«بينما أفكر في مسائل الحركة، التي بالنسبة لها، كان ينقصني، من أجل برهنة الحوادث التي لاحظتها أنا، مبدأ أكيد بشكل مطلق ربما كنت سوف أستطيع اتخاذه كمسلمة، وقد آل بي الأمر إلى قضية بدت طبيعية وجليه إلى حدٍّ كاف؛ قضية بناء على افتراضها، أبرهن كل ما تبقى، وبخاصة أن الأمكنة (المسافات) المقطوعة في الحركة الطبيعية تكون متناسبة بنسبة مزدوجة مع الزمن وأن المسافات المقطوعة في أزمنة متساوية، بالتالي، تكون كالاعداد الفردية ab unitate والأشياء الأخرى.

والمبدأ هو هذا: المتحرك الطبيعي يمضي مزوّداً سرعتَه تماماً بنسبة ما يبتعد عن نقطة انطلاقه؛ مثلاً، كما لو أن حصاة تسقط من النقطة A على الخط ABCD، أفترض أن درجة السرعة التي للحصاة في النقطة C هي من السرعة التي كانت لها في B هي كالمسافة CA إلى المسافة BA، وهكذا، بالتالي، يكون لها في D درجة سرعة أكبر من درجة السرعة التي كانت لها في C بمقدار ما تكون المسافة DA أكبر من المسافة CA.

A
B
C
D

الشكل-٤-

إن المبدأ الشارح الذي استشهد بها غاليليه في هذه الرسالة مغلوطٌ فيه: فالسرعة، في حركة سقوط حر، لاتتناسب مع المسافة المقطوعة، بل مع الزمان الذي مر، وهذا أمر مختلف. في الحالة الأولى، ربما كانت المسافة المقطوعة سوف تزداد تزايداً أسياً Exponentiellement بمرور الزمن، إذن بسرعة أكبر مما هو الأمر في الحركة الواقعية، التي فيها لا تزيد السرعة إلا كزيادة مربع الزمن. هذا لا يحول دون أن يكون الأمر أكثر جدارة بالملاحظة لكون غاليليه قد ذكر مع ذلك بقانون

الحركة الصحيح، على أنه نتيجة هندسية للمبدأ: إن هذا القانون وجب أن يكون قد أوحي إليه من الخارج، وقد كان ذلك بلا شك، بواسطة قياسات تمت بدقة، ومن جهة أخرى، مهما كان المبدأ المستشهد به مغلوطاً فيه فذلك لا يقلل من كونه يمثل خطوة كبرى إلى الأمام بالنسبة للتحليل الذي قُدِّم في كتاب De Motu، إذ أن الأمرَ هو تماماً أمر نُفي مبدأ أرسطو، الذي وفقه، لا يستطيع سبب ثابت إلا أن يولد مُسبِّبات ثابتة. وقدتم، في الواقع، للمرة الأولى، التبصر، فيما يتعلق بالحركة الطبيعية، في سيرورة جمعية؛ الدرجات السرعية المكتسبة تنضاف، بواسطة تراجع يضمر قبلاً، بطريقة خرقاء، مبدأ العطالة (في متحرك معزول عن التأثيرات الخارجية، كل درجة حركية مكتسبة، تبقى على حالها على الدوام).

منذئذ امتلك غاليليه الخوارزمية (نظام الحساب) التي تتيح له أن يحسب، وبالتالي أن يتوقع، بـ«طوارىء» الحركة المتسارعة بانتظام. فهو يعرف أن مسار القذائف هو قطع مكافىء. ويستطيع أن يحسب الميل الذي يجب أن يعطى للمدافع من أجل الحصول على مدى الرمي المطلوب، وأن يبرهن بخاصة، أن المدى الأعظم يتم الحصول عليه بواسطة زاوية رمي تبلغ ٤٥°، إن هذه النتائج العددية أذهلت قباطنة البندقية وفلورانسا، إذ ذهب إليهما في عام ١٦١٠، لكن منذ ذلك الوقت انجذب ذهنه بقادم جديد من هولاندا، حول الخواص الضوئية المرموقة لإحكام معين لعدسات ضوئية يتيح رؤية الأشياء البعيدة كما لو كانت قريبة. ومنذئذ استخدم خلاصة مهارته من أجل اكتشاف السماء والفوز بالحصول على أدلة جديدة من أجل دعم منظومة كوپيرنيكوس الكوسولوجية

الحكم لصالح الزمان

أنضج غاليليه، مع تقدمه في السن، مبادىء العلم الجديد التي رسخها عنده إكباره لأرخميدس ويقينه بمعقولية الطبيعة الرياضية واحتراسه بالنسبة للأدلة السائدة. وقد استدعى إلى الذاكرة، في مؤلفه الذي يعد بمثابة وصية، **خطابات حول علمين جديدين**، القانون الصحيح لسقوط الأجسام، وبرهن علاقته الضرورية بمبدأ

الدنياميكا الحق: في حركة سقوط حر، تكون السرعة متناسبة مع **الزمن** الذي مر، وليس مع المسافة المقطوعة، كلفت الشخصية البارزة de Sacredo بأن تطرح في هذا الكتاب المسألة الساذجة: لماذا نختار مبدأ يرجع إلى الزمن، الذي يبدو معقداً ومجرداً، وليس مبدأ أبسط وأكثر واقعية، قد تكون فيه السرعة متناسبة مع المسافة المقطوعة؟ كان الجواب الذي قدمه غاليليه في مقطع اليوم الثالث هذا، غامضاً وغير صحيح، والجواب الجيد يوجد مع ذلك في الكتاب نفسه: من أجل أن نفهم الحركة المتسارعة بانتظام، علينا أن «نركز انتباهنا على صلة القربى العظمى التي توجد بين الحركة والزمان». فالزمان وليس المكان، هو الثابتة Paramtse المكتومة في الميكانيكا، هو نابض الفيزياء الحق.

على هذا الحال، في الحقيقة، كان أعظم اكتشافات غاليليه، الأعظم بلا ريب في مجال الدنياميكا، عقب حياة كلها مكرسة للبحث عن قراءة للطبيعة جديدة: توجد صلة قربى عظمى بين الحركة والزمان، أي بين النفخة التي تجوب الطبيعة، تجعلها تهتز، وتتغير، وتعيش، وبين هذه الكمية المحسوسة التي تدل عليها الميقاتية، كان خطأً غاليليه في عهد شبابه، الذي لا شك أنه قد تأكد منه بنفسه، كان هو وثوقَه العظيم بأرخميدس، كان قسره الشديد للطبيعة على قبول أشكال واقتضاءات هندسية، في حين أن الدنياميكا تخضع لمنطق آخر غير منطق الشكل والمكان.

أتاح اختراع زمان الميكانيكا حينذاك لمؤسسي العلم الجديد قلب منظور أرسطو، الذي كان يجعل من الزمان عدد الحركة، وعدد الحركة لا يوجد إلا بالحركة، وهو خاضع للحركة، وليس سوى انعكاس لهذا الواقع الأول، وهو من جهة أخرى لا يوجد على ما يحتمل إلا بمقدار ما يمكن أن يكون معدوداً، أي متفتتاً في الذكاء الإنساني، كما يوحي بذلك أرسطو نفسه في كتابه **الفيزيقا**، برهن غاليليه أنه يوجد، بخلاف ذلك، في الطبيعة، شيء ما أولي، به تكون الحركة منظمة، وقد ماثله بزمان الميقاتيات، زمان الميقاتية المائية التي استعان بها كي يصف تجاربه على المستوى المائل، زمان نبضان نبضه أو زمان تأرجحات ثريا في كاتدرائية بيزا، أخيراً بزمان ميقاتيات مدينة پادو الميكانيكية.

لا شك أن تغير المنظور هذا أوحى له هذه المواضيع حول الأهمية المستقبلية لمكتشفاته: «والآن نستطيع أن نقول أن الباب مفتوح، للمرة الأولى أمام منهج جديد مزود الآن بنتائج عديدة رائعة، سوف توجه في السنين القادمة انتباه الأذهان».

مع ذلك، يجب الإعتراف أنه، إذا كانت الميكانيكا الجديدة تغير فعلاً الآفاق المنظورية باختيارها الزمان كواقع أولي، فإنها لم تكن تقدم أكثر من الفيزيقا القديمة الوسائل لادراك هذا الواقع، فكل الميقاتيات التي عددناها للتو هي في الواقع إشارات، بدائل زمانية، لا شيء، يضمن أن تكون دائماً قادرة على أن تسير بشكل متزامن. فمن خلال قلب وسخرية من سخريات تاريخ العلوم تعودنا عليها، تدل الميكانيكا الجديدة التي رسم خطوطها الأولى غاليليه، والتي أكملها بعده خلفاؤه غاسّاندي وديكارت ونيوتن، في حقيقة الأمر، على عدد زمان، والحال هو أن عدد الزمان للميكانيكا الجديدة يتطابق بالضبط مع المكان، من خلال مبدأ العطالة: «تكون فاصلتان زمانيتان متساوتين في قياسيهما عندما تكونان بحيث يقطع متحرك متحرر من أية قوة كانت في غضون الفاصلة الثانية، المسافة نفسها التي يقطعها في غضون الفاصلة الأولى».

* * *

الفصل الرابع

نيوتن واكتشاف القانون الثقالي

كان عمر إسحاق نيوتن، في عام ١٩٦٦، ٢٣ سنة. وكان قد أبعده قبل ذلك بعدة سنوات، عن مدينة كامبريدج، التي كان يتابع فيها دراسته الجامعية، جائحة طاعون دبلي. وقد أخذ يتفكر، وهو معتزل في مسقط رأسه لينكولنشاير، في مسائل علم زمانه الكبرى، كان منهجه بسيطاً: «أبقي على موضوع بحثي نصب عيني باستمرار، وانتظر أن تبدأ البارقات الأولى بالتفتح ببطء شيئاً فشيئاً، حتى تستحيل إلى وضوح كامل وتام».

وقد مثّل بين مسائل عصره الكبرى مسألة تنظير الميكانيكا، وكان قد عُرِف منذ عدة عشرات من السنين، بفضل أعمال غاليليه وخلفائه، مبدأ العطالة. وفق هذا المبدأ، تحافظ الأجسام المادية، عندما تكون بمأمن من كل تأثير خارجي، تلقائياً على حالتها الحركية التي توجد فيها. فإذا كانت في حالة سكون، تظل ساكنة. وإذا كانت في حالة حركة، فإنها تحافظ على حركة مستقيمة منتظمة، وفي حالة الأجسام الخاضعة لتأثير خارجي (نقول، بناء على قول نيوتن، «إنها خاضعة لقوة»)، غاليليه أيضاً زودنا بقانون فينومينولوجي خاص، قانون الأجسام الخاضعة لجاذبية الأرض: هذه الأجسام تهبط بحركة متسارعة بانتظام. فإذا قذف الجسم أفقياً بسرعة سر، فإن سرعته تركّب انتقالاً أفقياً سرعته هذه السرعة المنتظمة، وفقاً لمبدأ العطالة، مع انتقال شاقولي متسارع بانتظام، وفقاً لقانون سقوط الأجسام. ومسار الجسم يكون قطعاً مكافئاً.

وفي حين فتش ديكارت، في القارة الأوربية عن وضع نظرية لقوانين

الميكانيكا وعن فهمها بواسطة تأثيرات تماس (صدمة مباشرة أو، إذا لزم الأمر، بوساطة «دوامات» أثيريه)، كان نيوتن يفتش عن شرح للعالم من طبيعة أخرى، بواسطة تأثيرات لا مادية على شاكلة الشروح الكيفية المعتمدة في مجال الخيمياء، لكن كان عليه، من أجل ذلك، أن يتحقق من أفكاره، فالتأثيرات اللامادية التي كان يفكر فيها لا تستطيع أن تكون مأخوذة بالحسبان. بالنسبة لوضع نظرية للميكانيكا، إلا إذا كانت تتيح حقاً شرح قوانين الحركة وأن تقود إلى توقعات كمية وحقيقية، ومن المحتمل أن يكون قد سبق له أن قرر أن يدعو «قوة» هذا التأثير اللامادي، «الذي هو سبب الحركات الحقة»، أي الحركات التي يُستطاع إرجاعها إلى تطبيق لمبدأ العطالة، لكنه بحاجة إلى إثبات (برهان).

كان قد سبق لنيوتن أن أصبح، في عام ١٦٦٦، يعي القدرة الشارحة التي يستطيع أن يتوقعها من فكرة القوة بتطبيقها على حركة الكواكب الدورانية، فالكواكب لا تتم حركة مستقيمة منتظمة، بل تدور حول الشمس، وهي والحالة هذه خاضعة لقوة، وهذه القوة يجب أن تكون مشابهة تونر الحبل الذي يجعلنا على صلة بحجر ندوِّره حولنا، كما هو الحال في المقلاع القديم، وندعو هذه القوة القوة النابذة، وقد أظهرت له محاكمة رياضية بسيطة أنه، إذا كانت الكواكب بالفعل خاضعة لمثل هذه القوة، وإذا كانت، من جهة أخرى، مداراتها تخضع للقوانين الفينومينولوجية التي نص عليها كيلر، فحينذاك على هذه القوة أن تتغير كنغير عكس مربع المسافة[1]. وهذا هو قانون التجاذب العام الشهير.

لكن هذه الدلالة الأولى الفظة (إذ أن نيوتن كان يعرف جيداً أن حركة الكواكب ليست منتظمة وأن البعد عن الشمس والسرعة يتغيران على طول مدارها) لم تكن تجلب بعدُ البرهان الذي كان يفتش عنه، على كل حال، إن قول أن

(١) كان نيوتن يعرف أن القوة النابذة في مقلاع تتناسب مع $\frac{\text{سر}^{٢}}{\text{نق}}$، حيث سر هي سرعة الجسم المدوَّر في طرف حبل طوله نق، وسرعة كوكب على مدار دائري نصف قطره نق هي سر = $\frac{\pi C\ \text{نق}}{\text{د}}$، حيث د هي مدة الدوران الملاحظ، فالقوة التي تؤثر عليه يجب أن تكون متناسبة مع نق/ د، من جهة أخرى يدل قانون كيلر الثالث، الذي كان معروفاً حينذاك، على أن مربع الدور يتناسب مع مكعب نصف قطر المدار، والقوة التي نبحث عنها تكون والحالة هذه متناسبة مع نق/ نق٣ = ١/ نق٢.

الكواكب ترسم مساراتها بتأثير قوة موجهة نحو الشمس وتتغير عكساً لمربع المسافة التي تفصلها عن الشمس ليس غير طريقة جديدة للتعبير عن قوانين كيلر، يشكل مكثف أكثر، لكن هل إن هذه القوة تشرح أيضاً ظواهر ميكانيكية أخرى كسقوط الأجسام؟

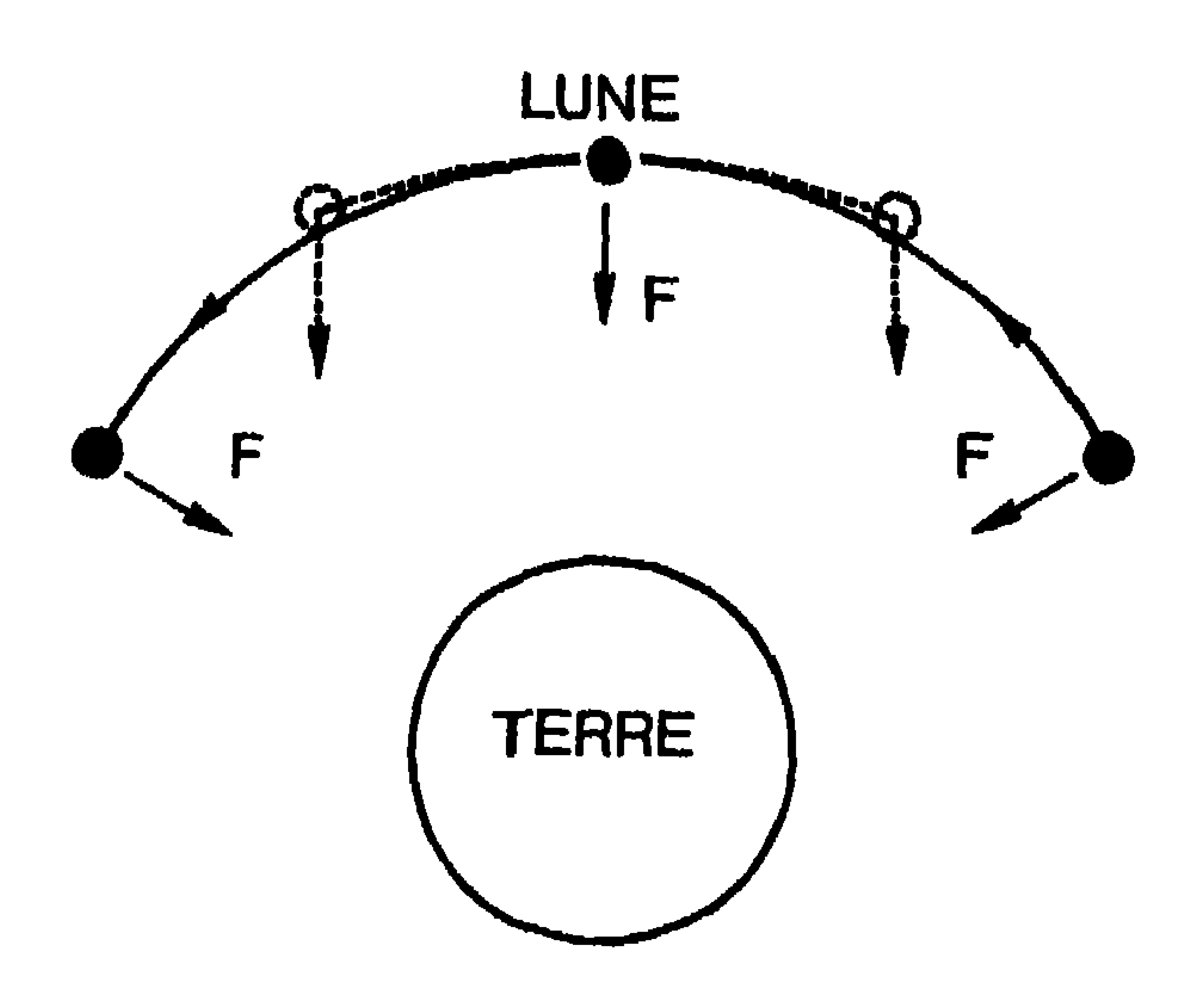
من الممكن أن يكون هذا الحدس العبقري قد خطر ببال نيوتن في غضون تسكعاته وتأملاته الريفية في وولستورب وهو يرى تفاحة تسقط من شجرة تفاح، إذا أن نيوتن نفسه روى ذلك في مخطوطاته، ويمكن أن يكون ذلك على ما يحتمل أيضاً اختلاق تركه يشيع على مسؤوليته، تحت الحاح مسائل حول التقصف الفكري الذي أتاح له أن يلمح، من أعماق تفكره، «البوارقَ الأولى التي بدأت تتفتح ببطء». إن كتَّاب سيرة نيوتن، أرادوا، وكان يدفعهم في ذلك نزوعهم للإستثنائي، أن يرمزوا إلى العبقرية بهذه الومضة التي عند سقوط التفاحة، ربما تكون قد جعلته يدرك التجاذب العام، في حين أن هذه الحادثة لم تكن، في أحسن الأحوال، غير مناسبة لتبلوره.

قانون التجاذب (الثقالة) العام

كان قد سبق أن أخذ مفكرون آخرون، في عهد نيوتن، يسعون لإقامة جسر بين الميكانيكا السماوية والميكانيكا الأرضية. وكان ديكارت يريد أن يشرح، بواسطة «دواماته»، الحركات السماوية مثلما كان يريد أن يشرح حركة القذائف الأرضية. وكان هوك، وهو فزيائي معاصر لنيوتن ومن مواطنية، يعمل بشكل مستقل عنه حول أفكار مشابهة. إلا أنه لم يتوصل أبداً إلى دعم نظرياته ببراهين رياضية، فنجاح نيوتن لا يتعلق بعبقريته بمقدار ما يتعلق بالمثابرة والدقة اللتين أتاحتا له أن يبرهن أن فرضية الثقالة العامة تزودنا بشرح لمنظومة العالم، وبالقدرة على إرساء أسس نظرية للميكانيكا تامة ومحكمة.

وقد أدرك نيوتن، منذ عام ١٦٦٦، أن القوة التي تبقي الكواكب على مداراتها حول **الشمس** شأنها شأن القوة التي تبقي الأجسام على سطح الأرض أو

التي تجعلها تسقط وفق قانون الحركة المتسارعة الذي اكتشفه غاليليه، وهذه القوة عامة، فيجب والحالة هذه أن تنطبق على **القمر** أيضاً. هذا **القمر** يهبط باستمرار نحو **الأرض**، قال ذلك لنفسه، وهو تماماً كالحجر المقذوف قذفاً أفقياً يرسم قطعاً مكافئاً. لكنه، إذ طغى عليه اندفاعه، يخطىء، إذا صح القول، **الأرض** ويجد في نهاية المطاف نفسه دائماً، بعيداً البعد نفسه عن الأرض. هذه الفكرة يمكن التحقق منها بالحساب، إذا «هبط» **القمر** نحو الأرض لكونه يخضع، كحجر مقذوف من برج، لقانون سقوط الأجسام الغاليلي، فيجب أن تكون حركته، بالنسبة للمستوى الأفقي، قطعاً مكافئاً، على الأقل ما دامت قوة الثقالة التي تربطه بالأرض يمكن أن تعتبر على أنها موازية لنفسها.



إذا كانت قوة الثقالة تتغير تغيراً يتناسب مع مربع بعد الجسم عن مركز الأرض، كما تصور نيوتن، فإننا حينذاك نستطيع أن نستنتج علاقة بين دور دوران

القمر ونصف قطر الأرض والمسافة أرض ـ قمر[1]؛ وذلك بفضل التكافؤ المفترض بين القوس الأولي لدائرة الحركة القمرية والقوس الأولي للقطع المكافىء الذي يمثل قانون سقوط الأجسام.

برهن نيوتن هذه العلاقة وفتش عن التحقق عما إذا كانت حركة القمر ترتضيها. نعرف جيداً دور دوران **القمر** حول **الأرض** (الشهر القمري). وكانت النسبة بين المسافة من **الأرض** إلى **القمر** وبين نصف قطر الأرض قدرت بواسطة اختلاف منظر القمر، أي الفرق بين زوايا تسديد النظر من **القمر** في اللحظة نفسها في مراقب أرضية مختلفة. وقد قدرت هذه النسبة، في ذلك العهد بـ ٦٠، بتدقيق جيد. طبعاً، كان نيوتن يعرف تسارع جاذبية الأرض على سطح **الأرض**، أما نصف قطر الأرض فقد كان بالمقابل معروفاً بشكل أقل جودة بكثير، كان غاليليه قد كتب، في مؤلفه الحوار **حول منظومتي العالم**، بأن نصف قطر الأرض يساوي ٣٥٠٠ «ميلاريا»، ميل إيطالي، أي ٥٣٠٠ كم تقريباً، ويحتمل أن يكون نيوتن قد استعمل هذه القيمة، مع أنها ليست أكيدة (موثوقة) أكثر من تقدير إيراتوستين، إن هذه القيمة هي، بالفعل، قصيرة جداً وأقصر بما يقرب من ٢٠٪، وتبدو القوة التي تبقي القمر على مداره، والحالة هذه، أضعف مما كانت تتوقعه فرضية الثقالة العامة لنيوتن.

كان الفارق أكبر مما يستطيع نيوتن أن يقربه، والخطأ إذا كان ثمَّ خطأ، لا يمكن أن ينجم إلا عن سببين: فإما أن تكون القيمة المقبولة بالنسبة لنصف قطر الأرض خطأ، أو أن يكون غير صحيح أن نقبل، كما قد فعل، بأن الجاذبية على سطح

---

(١) إن ارتفاع جسم يسقط سقوطاً حراً يتغير كتغير ع = ١/٢ تع ز٢، حيث تع هو تسارع جاذبية الأرض و ز الزمن الذي مر. ففي الثانية الأولى من السقوط، يقترب هذا الجسم، والحالة هذه، من المستوى الأفقي بمقدار $\frac{تع}{٢}$ من جهة أخرى، لنفحص مسار القمر الدائري، في اللحظة التي يكون فيها القمر في السمت، فإنه يقترب، في الثانية الأولى التي تلي، من المستوي الأفقي بمقدار ق (١ ـ كس $\frac{2\pi}{د}$) ≃ $\frac{ق}{٢}$ $\frac{2\pi}{د}$، حيث ق نصف قطر مدار القمر و د دور دوران القمر حول الأرض، هذا المقدار يجب والحالة هذه أن يكون مساوياً ٢/عَ، حيث عَ تسارع جاذبية الأرض على ارتفاع القمر، ووفقاً لفرضية قانون الثقالة العامة يكون عَ = ع (ر/ق)٢ حيث ر هي نصف قطر الأرض، بالتوفيق بين هذه المعادلات المختلفة، نحصل على العلاقة المطلوبة د٢ = ($\frac{4\pi^2}{ع}$) ق ($\frac{ق}{ر}$)٢.

الأرض ـ المعزوة إلى التجاذب المتبادل بين جميع أجزاء **الأرض** ـ تكون بالذات كما لو كانت كتلة **الأرض** بأسرها متجمعة في مركزها. بالطبع، إلا إذا كانت فرضية الثقالة العامة نفسها خطأ. . .

يجب إيضاح أن نيوتن لم يكن يعرف بعد كيف يبرهن، كما قام بذلك فيما بعد، بأن التجاذب الثقالي الذي تمارسه كرة كبيرة هو عين التجاذب الثقالي الذي يمارسه جسم دقيق كالنقطة له كتله الكرة نفسها وموضوع في مركز الكرة، ألا يحتمل أن يكون هذا العجز هو ما شلّه. وحيث أنه لم يكن يشك بأن قيمة نصف قطر الأرض يمكن أن تكون خطأ، جانب الإكتشاف وأجل إلى وقت لاحق متابعة بحوثه حول هذا الموضوع.

إن هذه المعترضة تدوم، في الواقع، عشرين سنة. وقد أتاح اختراع الحساب التفاضلي أن يبرهن في عام ١٦٧٩ التكافؤ بين كتل كروية متجانسة وكتل نقطية، من وجهة النظر التجاذبية، فالجاذبية على سطح **الأرض** تكون بالذات كما لو كانت كتلة الأرض بأسرها متجمعة في مركزها. برهن (أي نيوتن) بعد ذلك بعدة سنوات، بعد مراسلة طال أمدها مع **هوك وهالي**، بكل دقة أن مسار الأجسام الخاضعة لقوة موافقة لقانون الجاذبية العام (يتناسب مع ١/ و) بالنسبة لمركز ثابت، هو قطع ناقص يشغل مركز الجذب أحد محرقيه، لم يكن، والحالة هذه، الحساب الذي أجراه في عام ١٦٦٦ لاستنتاج قانون الجاذبية العام انطلاقاً من مسارات الكواكب القطع ناقصية، تقريبياً وحسب، كما ظن الأمر حينذاك، بل نتيجة دقيقة.

أخيراً، علم، في حزيران من عام ١٦٨٢، في غضون اجتماع **للجميعة الملكية** أن ملك فرنسا جعل عالم الفلك **جان بيكار** يحقق، منذ مضي ما يقرب من عشر سنوات، قياساً دقيقاً لنصف قطر الأرض، بواسطة عملية تثليث للمسافات بين أميان وباريس. وقد أعطى، قياس پيكار لنصف قطر الأرض قيمة تكافىء ٦٣٧٠ كم بدلاً من ٥٣٠٠ التي استعملها نيوتن بناء على يقين غاليليه. كانت الدقة

في القياس الجديد تبلغ الـ ١/١٠٠٠ ولم يكن يكن يوجد والحالة هذه أي شك حول واقع الفارق الذي شوهد في القياس الذي أشار إليه غاليليه.

ويذكر لنا التاريخ، أنه قد استولى على نيوتن حينذاك انفعال حقيقي. فعاد إلى حساباته التي أجراها في عام ١٦٦٦ مستخدماً القيمة الجديدة لنصف قطر الأرض. وقد بلغ انفعاله حداً جعله يحتاج إلى أن يطلب العون في إجراء حساباته، حتى ينتهي به الأمر إلى بلوغ الوضوح (التأكد) بأن **القمر** تبقيه على مداره قوة تتوافق تماماً مع توقعات القانون الثقالي.

وقد أصبحت اطروحته بتفاصيلها الأخيرة، في عام ١٦٨٤، بعد عشرين سنة من التلمس والتفكر، في وضع سليم. وفقط بعض الأصدقاء علموا بالأمر، منهم إدمون هالي الذي توسل إليه بالحاح طالباً نشرها، وقد كتبت مخطوطة Principia mathematica philosophiae naturalis في وقت جدّ قصير وقدمت إلى **الجمعية الملكية** في ٢٨ نيسان ١٦٨٦: وقد قررت الجمعية الملكية طبعها على نفقتها، وقد صدر المؤلف في أيار من عام ١٦٨٧، ويظل المولف، خلال ما يقرب من خمسين عاماً، مجهولاً من قبل فيزيائيي القارة، الذين رفضوا فكرة الجذب على بعد وفضلوا عليها شرحاً كيفياً لدوامات **ديكارت**، وحصل أن حاز العلم النيوتوني على يد **ڤولتير** ثم **لايلاس**، أخيراً، على حقوق المواطنة. ولم يلبث أن تحول إلى اسطورة.

ما هي القوة؟

يعتمد العلم النيوتوني على فكرة القوة، «سبب الحركات الحقة»، أو بشكل أدق سبب التغيرات الحقة في الحالة الحركية للأجسام (إذ، كما قد رأينا، يظل جسم يتحرك حركة مستقيمة ومنتظمة على هذه الحالة دون وجود حاجة لأن تطبق عليه أية قوة). لكن ما هو التغير «الحق» في رأي نيوتن؟ إنه تغير حركي يلاحظ لا بالنسبة لجملة مرجعية ما، بل بالنسبة لجملة مرجعية متميزة، يدعوها نيوتن **المكان والزمان المطلقين**.

وكمثال على ذلك، لنتصور أننا ننظر إلى حجر يهبط من سارية على سطح سفينة تتقدم في قناة مرفأ، نستطيع تحليل حركة الحجر بالنسبة لخطوط أرضية سطح السفينة ودرجات سلم درابزين السفينة، أو بالنسبة للشبكة المكونة من الكتل الحجرية التي تكوِّن الرصيف. في الحالة الأولى، نصفُ حركة السقوط على أنها حركة مستقيمة متسارعة بانتظام، وفي الحالة الثانية سوف يتراءى لنا أن الحجر يرسم مساراً بشكل قطع مكافىء. والحال هو أنه لا توجد في الحالتين سوى القوة الوحيدة عينها «الحقة والمطلقة» التي تشرح تغير حركة الحجر «الحق»: أي الثقالة، سبب حركة الحجر الشاقولية.

والحركة الشاقولية التي نتحقق منها عندما نستعمل الرصيف كجملة مرجعية لا تعبر إلا عن انتقال السفينة النسبي بالنسبة للرصيف. وإنه لمن أجل الفصل بين الحركات الحقة، التي سببتها قوة، والإنتقالات النسبية، افترض نيوتن، في بداية مولفة Principia، وجود هذا الإطار الذي يتيح أن تُعلَّم يشكل مطلق حركات الأجسام الفيزيائية: «المكان-زمان المطلق الذي يجب أن لا يُخلَط بينه وبين المكان والزمان المفهومين بالمعنى الدراج». فهذان المفهومان الأخيران هما، كما شرح، مرتبطان بجمل مرجعية خاصة يمكن أن تتحرك بشكل غير محسوس على الإطلاق بالنسبة **للمكان المطلق** (شريطة أن تكون حركتها هذه مستقيمة وذات سرعة ثابتة) أو أن تكون منزاحة في الزمان بالنسبة **للزمان المطلق**، دون أن يكون ذلك ممكناً أن يبدو بأي حال من الأحوال.

هاكم والحالة هذه، هذا **المكان** وهذا **الزمان المطلقين** اللذين أورثناهما نيوتن، واللذين ترسخا ترسيخاً عميقاً في ثقافتنا إلى حد يصعب علينا معه أن ندرك جانبهما الإتفاقي والجزافي. لأنه، إذا كان التصور النيوتوتي لمكان ولزمان مطلقين، ولا متناهيين، وموجودين بشكل مستقل عنا، وبشكل مستقل عن الأشياء المادية، في الواقع مرحلة مفيدة، وحتى ضرورية، في بناء الميكانيكا

حـول فكـرة القـوة، فإن هـذه المفـاهيم كـانت غـريبة على ذهن الفـيزيائيين الذين سبقوا نيوتن؛ زد على ذلك احتاجت إلى المناقش فيما بعد مناقشة حادة[1].

أما ما يتعلق بالطبيعة الحقيقة للقوة، فنيوتن، الحصيف، أعلن بأنه لا يعرف شيئاً عنها («لا أختلق فرضيات»)، وأكد أنه يريد أن يكتفي بوصف نتائج القوى القابلة للملاحظة، الحركة ذاتها، ولا ريب في أن ذلك كان تعقلاً من جانبه. في هذه الأيام تصف نظرية الحقول الكوانتية القوى على أنها تجلٍّ لتبادلات جزئيات موجودة بالقوة[2] دائمة، جزئيات من صنف الـ«بوزونات»، بين جزئيات مادية، أو «فيرميونات»، ونستطيع بصواب أن نسلّم بأن طبيعة القوى الانطولوجية تبقي على شيء من الخفاء.

العنصر الزماني اللامتناهي في الصغر والسببية

أتم نيوتن، بكتابته قوانين الديناميكا وباستدعائه مفهوم القوة، خطوة جديدة إلى الأمام نحو شرح سببي للزمان. ومعادلة الديناميكا الأساسية، التي تعبّر عن كون التسارع يساوي القوة المطبقة على جسم مقسومة على كتلته، تتيح لنا أن نتوقع ما سوف تكون عليه حالة جملة في لحظة قريبة قرباً لامتناهياً من اللحظة الحاضرة، بدءاً من حالتها الحالية، وهذا الحساب التفاضلي يمكن أن يكرَّر عدداً كبيراً من

---

(١) ربما كان نيوتن يستطيع في الواقع أن يكتفي بأن يصدر تعليماته بأن قوانين الميكانيكا كان عليها أن تستند إلى جملة مرجعية متميزة، الجملة التي تصوب محاورها نحو «النجوم الثوابت» دون تأكيد أي شيء عن وجود وأولوية **المكان والزمان المطلقين**. فما هو في الواقع المكان الحاوي، الذي يتحرك في الزمان، إن لم يكن مكاناً «متصوراً»؟ فأن نؤكد وجود وأولوية المكان على المادة، هو أن نفترض ضمناً بأنه يوجد كيان (جوهر) مفكر من أجل إدراك هذا المكان. كان سابقو نيوتن يناقشون بحدة موضوع معرفة ما إذا كان المكان والزمان يستطيعان أن يوجدا بشكل مستقل عن العالم المادي، وكان ريكارت ما يزال يجاهر، قبل نيوتن بأرعين سنة، بأن «ما ندعوه زماناً ليس شيئاً، ما خلا دوام الأشياء الحقيقي، غير طويقة في التفكير».

(D escartes, les Principes de la Philosophie, I, 57).

(٢) نقول، في الفيزياء المعاصرة، أن جزئياً هو جزيء موجود بالقوة عندما تكون الطاقة التي ينقلها لا تكفي لمنحه وجوداً واقعياً، أي ممكنة ملاحظته، مع كتلته الذاتية المميزة. فهو والحالة هذه يظل مكتوماً، إذا صح القول، في نسيج العالم، دون أن يبلغ سطح الظواهر.

المرات. وتتيح عملية الحساب التكاملي (التي اخترعها نيوتن وليبنيز بمعزل عن بعضهما) الإنتقال من حالة الجملة الحاضرة إلى وصف حالتها في لحظة ما.

وغالباً ما اعتبر ظهور المعادلات التفاضلية بالنسبة للزمن في قوانين نيوتن للميكانيكا على أنها صك ولادة السببية في النظرية الفيزيائية، لأنها تعبر بتعابير رياضية عن هذه الفكرة فكرة أن الحالة المستقبلية لجملة يمكن أن تعيَّن انطلاقاً من حالتها الحاضرة. وسوف يكون هذا هو رأي ألبير أنشتاين بخاصة، انشتاين الذي كان يجل في شخص نيوتن مخترع السببية العظيم، مع ذلك سوف نرى أن فكرة نيوتن السببية كانت لا تزال جدّ مجردة. فأنشتاين، سواء أراد ذلك أم لم يرد، حولها، بنقلة إياها، في نظرية النسببة، إلى سوية مبدأ إجرائي: فوفق هذا المبدأ، لا يمكن أن يجر كل اضطراب في منظومة فيزيائية نتائج على منظومات فيزيائية أخرى إلا بعد مرور بعض الوقت، الذي يكون لازماً لانتشار إشارة.

ما الذي بقي من أفكار نيوتن الرئيسية في هذه الأيام؟ إن الحياة الحديثة، ومنظومتنا التربوية المؤسسة على قواعد الدقة والإنتظام، والتمارين المدرسية بخصوص الرسوم البيانية لسير القطارات، والخرائط الجغرافية، كل هذه الأمور ترسخ فينا، منذ عهد طفولتنا، فكرة جدّ نيوتونية عن المكان والزمان، وهذا هو السبب الذي من أجله يصعب علينا كثيراً إدراك لا معقولية مسائل من قبيل: «ما الذي يوجد في ما يتجاوز حدود **الكون**؟»، أو «ما الذي كان موجوداً قبل خلق العالم - أو قبل Big Bang؟ ونندهش لحداثة تفكير القديس أوغسطين الظاهرة، إذ سبق أن كان يجيب على مثل هذه الأسئلة، منذ ١٥ قرناً: «قبل السماء والأرض لم يكن يوجد زمان». غير أن قليلين من بيننا يعرفون أو استوعبوا بالفعل الإنتقاد الكانطي للمفهومين المكاني والزماني. فكانط صاغ بالضبط هذا النقد من أجل «تعيين حدود مجالي المعرفة والإيمان»، ويخلص العلم من الإفتراضات الميتافيزيقية، ويحرر الهندسة من وصاية علم اللاهوت الذي كان نيوتن قد أخضعها في الواقع لها[١].

(١) شرح نيوتن في الـ Principia، بأن **المكان والزمان المطلقين** بأنهما بمثابة نسيج غير محسوس يتدثر به **الله**، أو به يتجلى. وفي تراسل بين كلارك وليبنيز، عرض كلارك فكرة نيوتن وقارن إدراك الأفكار في ذهننا، بإدراك **الله** للأشياء ووصف **المكان والزمان المطلقين** على أنهما «عضو» هذا الإحساس الإلهي.

بالنسبة لكانط، ليس المكان والزمان، في الواقع، أشياء في ذاتها، بل «مقولات ذهنية» أي شبكة تطريز Canevas نحملها في ذواتنا وتتيح لنا حل رموز العالم. ففي رأيه، لا توجد الأشياء «في ذاتها» لا في المكان ولا في الزمان. فالذهن الإنساني هو الذي يطبع، في فعل الإدراك ذاته، طباعة فوقية هذه المقولات الخاصة به والتي بدونها قد لا يكون الإدراك ممكناً، وذلك لا يعني حتى من أجل هذا أن يكون المكان والزمان وهمين أو اختراعين اعتباطيين من اختراعات الذهن الإنساني، إن هذه المقولات فرضت نفسها علينا في غضون تماسنا التجريبي بالطبيعة، وهي ليست، والحالة هذه، «اعتباطية». وإذا كانت لا تنتمي إلى الأشياء في ذاتها، فإنها لا تنتمي بدرجة أكبر إلى الذهن وحسب، بل إلى حوار الذهن والأشياء. إنها، في نهاية المطاف، النتاج الضروري للحركة نفسها، التي بها يفتش الذهن لاحتياز ـ لفهم ـ العالم الخارجي.

* * *

الفصل الخامس

الزمان في علم الطبيعة

بينما كان الفيزيائيون يستخلصون مفهوماً زمانياً صالحاً لتسهيل فهم ظواهر فيزيائية، كان البعد الزماني لعلوم الطبية يخرج هو أيضاً من علم الأساطير والتقريرية الدينية، فالتقريرية الدينية لم تكن تولي الزمان سوى سماكة منقوصة: ولم تكن القراءة الحرفية **للتوراة**، اللازمة حينذاك، تمنح العالم غير بضعة آلاف سنين وجود، وكان مفكرون، بقطعهم الصلة بهذه التقاليد، يقيمون العالم في زمان سحيق يمتد ملايين السنين.

من جهة تاريخ **الأرض**، إنه كان بخاصة عمل شارل ليِّل: فبإنجاحه عملاً للفكر خفياً ترتقي آثاره الأولى إلى أرسطو، معلَّم بأسماء ليونارد دي ڤاشي ونيكولا ستينون ورونيه ديكارت وجامس هوتّون وآخرين أيضاً، رأى للمرة الأولى في وجه **الأرض** نتيجة عمل بطيء، يمتد على أدوار من آلاف القرون، وكان بخاصة أول من قدم أدلة عملية كي يدعم امتداد الزمن هذا.

من ناحية البيولوجيا، كان تكبير السلالم الزمانية عمل شارل داروين، معاصر ومريد وصديق ليِّل: فداروين الذي كان مسلحاً بمخطوطات ليِّل، قطع الصلة بالتقاليد الثباتية وبالأوصاف المورفولوجيه الصرفة لليِنّي. وقد مدد الحدوس الأولى ليوفّون حول تطور الأنواع الحيوانية وأحل الزمان محل الجغرافيا (كمبدأ تصنيفي). وأخيراً، طور المصنف الشامل التاريخي الضخم الذي يصلنا، فيما يتجاوز الرئيسات الكبرى أولاد عمومتنا، بأكثر الثدييات بدائية وبالزواحف وقد أحدث ليِّل وداروين معاً انقلاباً تصوراً للعالم برمته، وفقه لا يكون هذا العالم غير مسرح أعد على عجل من أجل قدوم الجنس البشري. وكان وصول **الإنسان** المتأخر

وموضعه المتواضع في التاريخ العام ينسجم انسجاماً سيئاً مع علم أساطير مستوحى من الدين، ومتشبع بفكر إله خالقٍ بشري الصفات بشكل رهيب بنفاد صبره، كانت المقاومات عديدة وعنيدة.

الزمان الجيولوجي: من ليونارد دي ڤانسي إلى ليِّل

كان رجال الدين المتخصصون بالنصوص المقدسة، في عصر النهضة، يقدرون أن خلق العالم يمكن أن يرقى إلى ما يقرب / ٧٠٠٠/ سنة لا أكثر إلا ما ندر. فكر العلماء الأوائل الذين أرادوا شرح الهيئة الحالية للكرة الأرضية بمشاهدها الطبيعية وطبقاتها الجيولوجية، في بداءة الأمر، أن الأرض قد كانت على الحالة التي يرونها عليها منذ بدياتها، أي إما تكون قد خلقت على هذا الحال دفعة واحدة، أو أن تكون قد قولبت (شُكلت) في أزمنة وجودها الأولى بفعل بعض الإضطربات الفاجعة، بخاصة بفعل الطوفان.

كان ليونارد دي ڤانسي رائداً عظيماً في الجيولوجيا، بمقدار ما كان رائداً في الفيزياء[1]. وقد برهن أنه، خلافاً للرأي العام في زمانه، لا يمكن أن تكون الأحافير البحرية التي نجدها في أراضي إيطاليا القارية من بقايا الطوفان، إذ أننا نصادفها في طبقات جيولوجية مختلفة ومتراكبة. وقد أسست ملاحظاته التحليل الخاص بعلم الطبقات الجيولوجية والجيولوجيا الوصفية. لكن إذا كان قد حصل عنده حدس للمدد الزمنية المديدّة التي تتضمنها التشكيلات الرسوبية، فإنه لم يطور هذا الحدس بطريقة منهجية، ولم يقترح أي تأليف.

كتب توماس بورنيه، وهو رجل دين معاصر لنيوتن (تراسل معه مراسلة علمية)، في أعوام ١٦٨٠ **نظرية مقدسة للأرض**. وكان لا يزال، فيما يخص الزمان، متأثراً جداً باسطورة الدائروية القديمة. وكان يتصور التاريخ العام على أنه **«عام طويل»** ابتدأ ب**المسيح** وربما يعود إلى **المسيح**[2]، مروراً بكل أطوار دورة

(١) سبق أن أشرنا إلى أن ليونارد ڤانسي، اخفق لعدم وضعه الزمان في قلب أفكاره العلمية، في سبق غاليليه قرابة مائة سنة في اكتشاف قانون سقوط الأجسام.

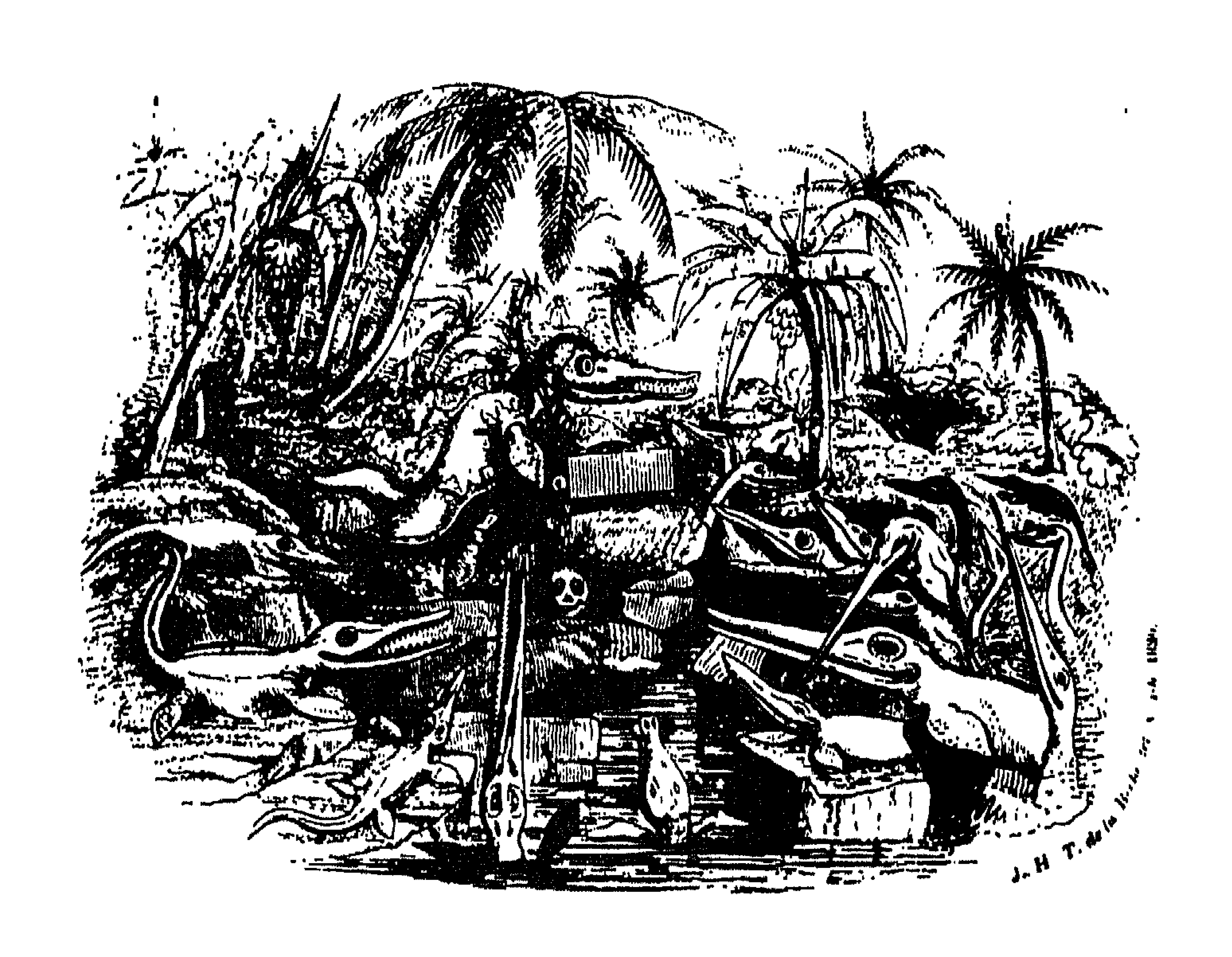
(٢) بالطبع، هذه الفكرة هي ثابت موجود بالفعل على الدوام في علم اللاهوت المسيحي. ألم يقل المسيح «أنا الألف والياء»؟

متناظرة. في رأيه، كانت الأرض في بداية الأزمنة، في حالة تناغم تام، وكانت كرتها ملساء ولا بارز فيها. وقد أفقدها طور فواجع مؤقتاً هذا المرأي الهادىء. والطوفان يحدد بداية الأزمنة الجيولوجية، وسوف تكون نهاية الأزمان محددة ببلية أرضية خارقة، قبل عودة الأرض إلى التناغم التام الذي سوف يمهد لعودة المسيح المظفرة. إن مقاربة بورنيه تظل مثيرة للإهتمام، لأنها تشتمل في ثناياها مخططاً أولياً للزمان ـ صيرورة: لقد أكد بالفعل «أنه ربما لن يركن إلى الحكمة الإلهية ولا إلى عدالة أن يعود فيظهر على مسرح الأرض الحوادث نفسها والشؤون الإنسانية نفسها التي ربما يكون الطور السابق قد أدانها ودمرها».

يعزى لجامس هوتّون (١٧٢٦ ـ ١٧٩٧) الفضل في إظهار عدم فائدة الاستعانة بالكوارث من أجل تبرير هيئة سحنة الأرض الحالة. وإذا كانت أسباب التحات المعروفة، البحر، والمطر، والريح، والتجمد، والنشاط البركاني والزلازل الموضعية، تمد تأثيرها على حقب زمانية كافية، على أدوار أطول بما لا يقدر من الأدوار التي تم أخذها بالإعتبار إلى حينه على أساس ما ورد في **الكتاب المقدس**، فإننا نستطيع فهم جيولوجيا الأزمنة الراهنة. إن تفكير هوتّون يمثل بالتأكيد خطوة إلى الأمام بالنسبة لتفكير بورنيه، حتى لو كان وياللغرابة يرفض فكرة وجود اتجاه للزمان: إن الزمان وحده يُعَدّ بالنسبة له، وتاريخ **الأرض** هو تاريخ نضال لا نهاية له بين القوى الحيوية (اللدينة) التي ترفع الجبال وبين القوى المدمرة التي تحتها.

ويُعثَر على غياب متجهة الزمان نفسه لدى شارل ليبِّل، الذي يعتبر، بصورة عامة، على أنه الأب المؤسس الحقيقي **للجيولوجيا** الحديثة. وقد ابتكر لوحة كبرى للتاريخ الجيولوجي، جمعت مبادئه تحت تعبير الإنتظامية. كان يدافع عن الفكرة التي تقول بأن القوى الجيولوجية الراهنة كانت إلى حد كبير تكفي لتشكيل التضاريس الأكثر إدهاشاً، على شاكله **شعب كولوراد والكبير**، شريطة أن يتاح لها الزمان. بيد أن ليبِّل، باصراره على نفي الأطروحات التي تقول بالكارثية، أراد أن يرى في شكل الطبقات الجيولوجية (التي جهزها بمدونة قريبة جداً من تلك التي لا تزال تستعمل في هذه الأيام) سيرورة عمياء، لا سبب لها ولا هدف، وبناء على

ذلك تكون معرضة لذلك تماماً لتغيرات في الإتجاه ولتراجعات إلى الوراء. كان يشيد بتلاؤم تام بين تاريخ الحياة وتاريخ البيئة، وكان يفكر بأن أشكال الحياة تبدي تكيفاً كليا من الشروط المناخية والجيولوجية السائدة. ولكونه ينفي اتجاه التحولات الجيولوجية، لم يكن يرى للماذا ربما تستطيع الشروط التي خمدت الآن أن تعود فتنج، وفي مضماء هذه الفرضية، أن تعود الأجناس وحتى الأنواع التي انقرضت إلى الإنبعاث. وذات يوم أهداه أحد خصومه هذا الرسم اللاذع، حيث، في عهد مستقبلي، ينكب «الاستاذ إيثتيوزوروس» الذي يرمز إلى ليبِّل، بحنو على بقايا منقرص وبالتأكيد من مرتبة دنيا: هو **الإنسان**.



إن لييِّل كان قد فهم، في أثناء جولاته الجيولوجية، كل القسم الذي كان بالإمكان أن يستخلص من حضور أحافير من أجل تعيين تواريخ الطبقات الجيولوجية النسبية. وحيث أنه لم يكن يؤمن بمتجهة للزمان كائناً ما كانت متعلقة بازدهار شجرة الحياة، فإن ما يُستَدل من حضور أحافير لم يكن يستطيع، حسب رأيه، إلا أن يكون إحصائياً: وحضور أو غياب هذا النوع أو ذاك ليس له، بالنسبة له، أية دلالة زمانية في ذاتها، لكن طبقتين جيولوجيتين تكونان بالأحرى متباعدتين في الزمان بحيث تحتوي إحداهما أقل نسبة من الأحافير المميزة للثانية.

لكن إذا كان لييِّل حقاً مجدِّداً عظيم الشأن، فليس وحسب لأنه منح الجيولوجيين منهجاً من أجل فهرسة مختلف الأحقاب الجيولوجية التي تتعاقب في تاريخ الأرض: والأحرى لأنه فهم، على غرار غاليليه، أهمية عامل الزمان كمبدأ شارح في العلوم الجيولوجية. إن إحدى الواقعات التي جعلت لييِّل يعي عظم الأحقاب الجيولوجية وبطء عملها حصلت في عام ١٨٢٨. ففي تلك السنة، زار لييِّل منطقة الأوفيرن؛ ولاحظ البراكين وعدة مستودعات رسوبيه. وقد لاحظ في أحدها أن السجيِّل ينفصل إلى صفائح رقيقة جداً، نوعاً ما على شاكلة حزوز النمو السنوية في مقاطع جذوع الأشجار. وتتشكل هذه الصفائح صمامات* قشريات صغيرة جداً من نوع Cypris، سلَّم لييِّل بحق أن كل صفيحة تقابل رسوب سنة، وقد عد ما يقرب من ٣٠ صفيحة في سماكة ٥, ٢ سم من السجِّيل، الذي يتكدس على ما يزيد على ٢٣٠ متراً. على هذا الحال، يجب أن تكون هذه التربة الحديثة التشكل نسبياً أن تكون والحالة هذه نتيجة ترسب بحري مستمر طوال ما يقرب من /٢٧٦٠٠٠/ سنة.

ويحق لنا أن نعتقد بأن الصعوبات التي كانت تعوق حينذاك تطور الجيولوجيا كانت تأتي بالضبط، في معظمها، من امتناع تعيين تواريخ الطبقات الجيولوجية. ففي ذلك العهد، كان ممكناً وحسب، تأريخ نسبي للأحداث. ويجب أن لا ننسى أن مناهج التعيين المطلق للتأريخ يستند على قياسات إشعاعية، لم تكن معروفة حتى

عام ١٩٠٦ ، ونستطيع أن نقيم توازياً بين صعوبات إعداد الميكانيكا، الذي كبحه غياب وسائل دقيقة لقياس الأزمنة القصيرة، واللجلجات المتأخرة في الجيولوجيا، التي وجب عليها انتظار القرن العشرين كي تجد أجهزة قياس المدد الزمانية الطويلة جداً التي تميزها(١).

زمان الحي: من بوفّون إلى داروين

إن تحليل المدد الزمانية المميزة لتطور الحي تكون بالطبع مقترنة اقتراناً وثيقاً بتحليل المدد الزمانية الجيولوجية. بيد أن تطور الفكر العلمي يوجد هنا متجمعاً في فواصل قصيرة نسبياً. وقد مُثِّلت المرحلة الأساسية ما بين نشر كتاب Systema Naturae الينّي في عام ١٧٣٥ ونشر Origine des especes، لداروين في عام ١٨٥٩.

ويمثل كارل ڤو لينّي المثال الأكثر نموذجية للثباتية: فذهنه يبدو كتيماً تماماً بالنسبة لسحر سلطة الزمان. فهذا العالم الكبير بالطبيعة طور عمله التصنيفي حول ملاحظات بالتأكيد دقيقة، لكنها مورفولوجية بشكل صرف، وتخلو من أي اهتمام بالتاريخ.

وقد كان خصمه الفكري في فرنسا هو جورج دي بوفّون. فبوفّون فضل أن يُحلّ محلّ معايير لينّي المورفولوجية بشكل صرف، معايير بيولوجية. وبخاصة، عرّف الأنواع وفصلها وفق معيار الإلقاح المتداخل المعروف جيداً الآن. وإلى ذلك، سعى إلى تمييز صلات القربى بين الأنواع، ليس وحسب من خلال تشابهات مورفولوجية، بل من خلال معايير التجاور في المواطن الجغرافية. وشيئاً فشيئاً،

---

(١) إن النسبة المئوية لمختلف العناصر المشعة الحاضرة في الصخور القديمة تتيح بسهولة معرفة تكونها. فالتوريوم ٢٣٢ له نصف-حياة يبلغ ١٤,١ مليار سنة، والأورانيوم ٢٣٨، يبلغ ٠,٧١ مليار سنة. وللبوتاسيوم ٤٠ (نصف-حياة يبلغ ١,٣ مليار سنة) ويستعمل في تأريخ الاحافيز القديمة. ومع أن للكاربون ١٤ نصف-حياة قصيرة بما فيه الكفاية (٥٧٣٠ سنة)، يتشكل باستمرار في طبقات الجو العليا بواسطة الإشعاع الكوني، ويتيح أن نعرف بدقة كافية تاريخ توقف التبادلات بين العضويات الحية وبين الجو (بتعبير آخر موتها)، إذا كان ذلك لا يرقى إلى أكثر من /١٠٠,٠٠٠/ سنة تقريباً. وسوف نتعرض في الفصل ١٢ لتحليل الإشعاعية بما هي ظاهرة فيزيائية زمانية بشكل نموذجي.

استدرج بوفّون إلى الإعتراف بدور الزمان في البيولوجيا؛ وقد سلّم، مثلاً، بأن التغيرات داخل نوع تُعزى إلى تأثير قوى طبيعية (مناخ، غذاء، بيئة). لكنه لم يكن قد غدا قادراً على أن يتخيل بالنسبة لتأثير هذه القوى المدة شبه اللامحدودة التي سوف يقدرها داروين بشأنها.

كان المؤسس الحقيقي لمذهب التحولية هو المركيز دي لامارك، الذي عارضه بشدة فيما بعد داروين. وقد وضع لامارك بالتأكيد الزمان وسلطته في مركز منظومته الفكرية. لكن إذا كان تاريخ العلم قد أبقى في هذه الأيام على اسم داروين بدلاً من اسمه باعتباره أبا المذهب التطوري، فقد كان ذلك جزئياً لأن داروين جمَّع، بمناسبة ملاحظاته على السفينة بيغل، حصاد براهين وأدلة واقعية كان يفتقر إليها رجل التفكير الإنفرادي والتأليف النظري الذي كان هو أخاه البكر. وفوق ذلك، وبخاصة، ينظر الجماعية العلمية، لم يكن لامارك حقاً من ذويه، لأنه بدلاً من أن يستدعي فقط أسباباً ماضية كان يسلّم بتأثير سبب غائي عظيم، بتأثير قوة ملازمه للطبيعة وموجهة في الزمان.

كان نجاح داروين الكبير، بالفعل، في إقامته الدليل في نظرية التطور على قواعد ليست غائية، بتمسكه بقوى الصدفة العمياء تماماً وبالإصطفاء الطبيعي. ويجب والحالة هذه أن نرى في نجاح وشهرة ليِّل وداروين أكثر من صدفة: فالإثنان حاربا بضراوة فكرة وجود اتجاه في مصير **الأرض والحياة**، والإثنان استدعيا الصدفة باعتبارها سبباً نهائياً لما يبرز ظاهر مصير. ويظل هذا المخطط إلى الآن قوياً جداً في هذه الأيام: وباستدعاء الصدفةَ، ألفي واقع المسألة مذللاً، في النطاق الذي ربما تستحق فيه براعة الصدفة في تصنّع غائية، شروحاً أكثر تماسكاً من الشروح التي قدمت بصورة عامة.

على صعيد العلم البيولوجي، جعل داروين الزمان يجتاز مرحلة حاسمة حقاً. وقد كانت إحدى الفرص الباتة هي إقامته على السفينة بيغل في المحيط الهادي. ففي جزر غالا پاغوس، اكتسب داروين القناعة بأن انعزال مستوطنات

طيور كانت قد جرَّت إلى حيدانٍ مورثاتي وإلى تكثير أنواع أقارب. وهذه الملاحظة باقترانها مع قراءة **مبادىء الجيولوجيا** لليِّل أوحت لداروين فكرة سلّم زماني ملاءَم مع ظواهر الحيدان المورثاي هذه، والتي تكون غير محسوسة عندما تكون قيد العمل في الطبيعة الوحشية، لكنها تكون مُسرَّعةً بواسطة ممارسة المربين (مربيي الحيوانات). أخيراً، بعد عودته إلى انكلترا، في عام ١٨٣٨، أتاحت له قراءة **دراسة حول المبدأ السكاني** لمالتوس بلورة التأليف الكبير لميكانيكيات الإصطفاء الطبيعي. وقد عبر في **أصل الأنواع**، الذي نشر في عام ١٨٥٩، بوضوح عن ضرورة بطء عمل الطبيعة: «أسلم بأن الإصطفاء الطبيعي لا يأتي بتغيرات إلا ببطء، ببطء شديد جداً، وذلك في جزء صغير من سكان منطقة بعينها. وأعتقد، من جهة أخرى، أن هذه النتائج البطيئة والمتقطعة للإصطفاء الطبيعي تتوافق تماماً مع ما تعلمنا إياه الجيولوجيا عن المسار الذي يبدو أن سكان كرتنا الأرضية، قد سلكوه، في تحولاتهم المتتابعة».

* * *

بالاختصار، يبدو أن ثلاث سمات تميز ليِّل وداروين عن أسلافهم. بادىء ذي بدء، قناعتهما الحميمة بأهمية **الزمان** باعتباره ثابتة Parametre شرحية في علوم الطبيعة. ويعدئذ، **رفضهما الصريح للإستعانة بأسباب غائية**، قضى بأنها مناهضة للعلم. وخلافاً لفكرة منتشرة إلى حدّ كافٍ، نجد من جهة أخرى أن هذا الموقف لم يمله وضع جدلي تجاه الدين. فعندما أبحر داروين في سفينة بيغل كان لديه أمل خفي بأن ييسر التفسير الديني لتاريخ الحياة. وقد انزلق في آخر حياته نحو لاأدرية غير مناضلة. وقد فكر ليِّل، كمؤمن، طويلاً (حتى عام ١٨٦٢) بأن الإنسان كان بمنجى من التاريخ الطبيعي، وأنه قد كان «إضافة» معجزية في اللحظة الأخيرة.

أخيراً، لقد استخدما هما الإثنان من أجل إقامة الدليل على قناعاتهما، لاخطباً بلاغية، بل أمثلة دقيقة، كان ذلك هو الحال، لدى ليِّل، بالنسبة لتقدير مدد

الترسب، كما كان ذلك هو الحال، لدى داروين، بالنسبة لدراسة تعدد أنواع الطيور في المستوطنات المنعزلة في المحيط الهادي.

وقد كان انعدام وسائل دقيقة ولا يمكن دحضها لقياس عمل الزمان البطيء على السلمين الجيولوجي والبيولوجي، كما سبق أن أشرنا إلى ذلك، عائقهما الحقيقي. إن إرنست هيكل، النصير المتحمس وشبه المتعصب لداروين (ونستطيع أن نرتاب بأن لديه، البواعثُ المناهضةُ للدين هي التي أثرت على موقفه، بصرف النظر عن مزاياه العلمية) أشار أيضاً في عام ١٨٧٤، في مؤلفه **تاريخ الخليقة** إلى أن «علينا في التاريخ العضوي **للأرض** أن نعدَّ لا بآلاف السنين، بل بأدوار إحاثية وجيولوجية، يتضمن كل واحد منها عدداً من آلاف السنين، ومن المحتمل أن يكون ذلك عدداً من ملايين وحتى مليارات السنين. . . إن خيالنا لعاجز عن أن يتصور مثل هذه المدد الزمانية، ونحن شأننا شأن عالم الفلك، لا نملك قاعدة رياضية موثوقة، من أجل أن نعبر بالأرقام، حتى لو كان ذلك بشكل تقريبي، عن طول وحدة القياس».

* * *

الفصل السادس
الزمان والمكان

يُعتَقد بشكل عام أن القياسات المكانية والقياسات الزمانية تستدعي تقنيات مختلفة ومستقلة. فالمصريون القدماء كانوا يجرون بسهولة قياسات مساحية بواسطة الحبال والمساطر، لكنهم لم يكونوا يقيسون الزمن إلا بطريقة تقريبية بساعاتهم الشمسية وساعاتهم المائية. وفي هذه الأيام أيضاً، يبدو قياس الأطوال بواسطة مسطرة مدرجة، أكثر بساطة وأكثر واقعية من قياس فاصلة زمانية بواسطة مقياس الوقت. ومع ذلك، إذا ما نظرنا إلى الأشياء لا من زاوية الممارسات التقنية، بل في عمق التبريرات البدئية والدلالة الإيبيستيمولوجية للمفاهيم، فإن تفوق المكان هذا على الزمان ليس مؤكداً. وإن قياس المكان والزمان ليسا مستقلين وحسب، بل أيضاً، يبدو الزمان، من نواحٍ عديدة، كمفهوم بدئي يجب أن يسبق امتلاكه مفهوم المكان.

على هذا الحال، عندما أراد عالم الفلك اليوناني **أريستارك دي ساموس**، في القرن الثالث قبل الميلاد، أن يقارن قدّ مداري **الشمس والقمر** بابعاد **الأرض**، قاس قطر هذين النجمين الزاوي الظاهر. ويعتقد أنه قد قارن، من أجل ذلك، الزمان الذي يستغرقه كل من هذين النجمين كي يطلع ويغيب عند الأفق، والزمن الذي يستغرقه **القمر** كي يجتاز مخروط ظل **الأرض** عند الخسوف.

وفيما بعد، فصلت صعوبات قياس الزمان وتقدمات الهندسة المكان عن الزمان. وقد امتد تفوق المكان، الذي كرسه هندسيون مثل اقليدس وأرخميدس، حتى العصر الكلاسيكي، بيد أنه هُوجم بعنف منذئذ. وفي ذلك، لا تلحق

تطورات العلم وحسب بالأفكار التي تنصب على ممارسة علماء الفلك القدماء الذين لا يزودوننا إلا بأمثلة مبعثرة، إنها تؤيد أيضاً معطيات علم النفس التجريبي، الذي ارتبط منذ مائة عام بدراسة تطور مفهوم الزمان لدى الطفل.

أولوية المكان أم أولوية الزمان؟

من الطبيعي أن نرى أن دراسة نماء مفهوم الزمان لدى الطفل يمكن أن تعطينا الوسيلة التي تحسم النقاش حول أولوية المكان أوالزمان، الذي عنه لا تأتينا المقاربة التاريخية إلا بدلالات مبهمة. ولسوء الحظ، تغدو الدراسة جدّ صعبة بوسائل علم النفس التجريبي، منذ أن تتشبث بالنظر إلى المسألة لدى حديثي الولادة والرضع، فهؤلاء لا يعبرون عن أحاسيسهم إلا بطريقة جدّ غير دقيقة! بيد أن ملاحظات عامة تكون مع ذلك ممكنة، ملاحظات تدافع لصالح أولوية الزمان لدى الطفل الوليد، حتى قبل أن يمتلك الإحساس بالمكان؟

على هذا الحال، يكون البكاء لدى حديثي الولادة مفسراً على أنه علامة على نفاد صبرهم في سعيهم للعثور على ثدي أمهم، لأن هذه التظاهرة تتوقف عند ملامسة الثدي، وعلى أساس ملاحظات كهذه، كان جون ـ ماري غوييُّو يشير منذ عام ١٩٠٢ إلى أن «الزمان قد لا يكون في البداية، إذا صح القول، غير الفاصلة الواعية بين الحاجة وتلبيتها». وفي عام ١٩٢٨ زاد پيير جانيه فقال: إن المفهوم الزماني يبدأ، في رأيي، بأحاسيس جد بسيطة، تبدو منذ التخطيمات الأولى للنشاطات. إنها الجهود المختلفة. هناك بعض الجهود: جهد الإستمرار، جهد الإبتداء، جهد الانتهاء، التي توجد منذ قيام موجود حيّ بعمل شيء ما. . . وإنه لفي تلك اللحظة يظهر أول شعور بالزمان. وهو يتحسن. . . بتصرفات تكون قد غدت جدّ أكثر دقة: تصرفات الحضور، والغياب وبخاصة تصرفات الإنتظار». وما هو أقرب إلينا، كون پول فريسّ قد قدر أن «الإحساس الأكثر بدائية بالزمان يولد من خيبة ذات أصل زماني: فمن جهة لا توفر لنا الدقة الحاضرة تلبية رغباتنا، ومن جهة أخرى إنها تحيلنا إلى أمل مستقبلي (نهاية الانتظار، نهاية الفعل الذي بدأ). . .

ويؤكد جون بياجيه أنه في البداية «يختلط الزمان بانطباعي الإنتظار والجهد، مع حدوث الفعل نفسه، المعاش داخلياً. على هذا الحال، فالزمان يملأ بالتأكيد كون (عالم) الطفل بأسره، لأن أي تمييز بين عالم داخلي والكون الخارجي لا يكون قد وهب بعد». لكنه لا يلبث أن يلاحظ بأن هذا الزمان المعاش لا يزال بعيداً جداً عن مفهوم الزمان المشترك، إذ لا يشتمل، على حد قوله، لا قبل ولا بعد واقعيين. ولا يتم إلا بعد ذلك بوقت طويل أن يفهم الطفل الزمان في اتجاهيته، حسب التعريف المقدم في مدخل هذا المؤلف. «في المرحلة الرابعة (٨ـ٩ أشهر إلى ١١ـ١٢ شهراً)، لاحظ بياجيه أيضاً، يغدو الطفل قادراً على البحث عن شيء أختفي عندما يكون قد رأى أنهم قد خبؤوه تحت ستارة أو عندما تكون الستارة قد أتت لتحول بين الشيء وبين نظره، وهذا دليل على أنه قد فهم أن الأشياء تحافظ على هويتها ودوامها في الوقت الذي تنتقل فيه خلال الزمان. بيد أن هذه الأمثلة الواضحة عن الترتيب الزماني تتضمن الآن مفهوم شيء مكاني، من هذا القبيل، يصبح تكوّن الزمان منذ هذه المرحلة موازياً لتكوّن المكان.

ويظل تحليل الأحاسيس الأولية، وعلينا أن نسلّم بذلك، مؤسساً إلى حدّ بعيد على دلالات تفتقر إلى الدقة بما فيه الكفاية، وإن كانت قريبة من الحق، فهذه الدلالات تدلّ مع ذلك على أولية بدئية للزمان بالنسبة للمكان، يعقبها، في حياة الطفل، وضع (حالة) جدّ أكثر إرباكاً. ويبدو أن العلم الوليد قد سلك طريقاً شبيهاً بما فيه الكفاية. ومنذ العصور القديمة، وضعت، صعوبات قياس الزمان من جهة، وتقدمات الهندسة من جهة أخرى، بسرعة، الزمان بحيث يكون تابعاً للمكان (فاجهزة قياس الزمان تدل، في آخر المطاف، على تنقل معلمٍ ما على مقياس مدرج). وسريعاً غدا تفوق المكان في ممارسة الفنون والعلوم، الذي كرسه تطور الهندسة، صارخاً، وقد امتد حتى الثورة الغاليلية.

وما هو مفارق، أن تشدد، هذه الثورة التي كان معناها العميق هو إعادة إدخال الزمان في قلب التفكير النظري، أيضاً اسبقية المكان. إن الزمان يوجد

بالتأكيد في قلب النظرية الجديدة. لكن كيف نقيسه؟ كيف نجعل منه مقداراً قابلاً للقياس وقابلاً للتكميم؟ إن النظرية تجيب والحالة هذه: بواسطة المسافة المقطوعة. ولكي نجعل من المسافات المقطوعة العلامات الواقعية لجريان الزمن، نستعمل مبدأ العطالة الجديد كل الجدة، الذي ينص على أن الأجسام تقطع في حالة غياب أية قوة فاعلة بخط مستقيم مسافات مكانية متساوية في أزمنة متساوية.

بالطبع، من حيث التطبيق، لم يستعمل هذا المبدأ أبداً بشكل مباشر من أجل قياس الزمان. فلا غاليليه ولا خلفاؤه تخيلوا أو صنعوا ميقاتيات تستعمل الحركة المستقيمة لجسم تحت التجربة. محرر من أية قوة، ميقاتيات نقرأ عليها الزمان بوساطة زلاقة تدل في كل آن على الطريق الذي قطعه هذا الجسم. لنتأمل مع ذلك تأكيد غاليليه: بأن مسار كريَّة تهبط عن طاولة بسرعة أفقية غير معدومة هو قطع مكافىء. فزي معنى عميق يُعطى لهذا التأكيد إن لم يكن هو كونُ المسافة المقطوعة الأفقية قياساً للزمن الذي مرّ، وبالقياس إليها نستطيع أن ندرك مباشرةً التسارع المنتظم للحركة الشاقولية؟ إن غاليليْه تصور جيداً ميقاتيات ذات رقاص، وبناها خلفاؤه، ميقاتيات يستتبع تشغيلها ضمنياً صحة قوانين الدنياميكا بصورة عامة، وصحة مبدأ العطالة بصورة خاصة، وأن يوضع الزمان، كما فعل غاليليه، في قلب الدنياميكا كان هو الخطوة الحاسمة التي تتيح تأمين تماسك ودقة آلات ميكانيكية لقياس الزمان، كما كان أيضاً هو تبرير استعمال قياس الزمان القديم، المرتبط بدوران الكرة السماوية: فانتظام هذا الدوران، يتوقف هو الآخر، على صحة مبدأ العطالة ومبادىء الميكانيك الأساسية، عندما تطبق على دوران الأرض.

حالة مثالية: تحديد موقع سفينة (نقطة بحرية)

من بين أمثلة القياسات الفيزيائية، يوضح تعيين خطوط الطول بشكل تام تعقّد القياسات المكانية والزمانية. فالزمان يستعيد هنا قيمته البدئية، إذ تفقد في عرض البحر القياسات المكانية طابعها المباشر: إذ لا يعود التعليم بالنسبة لطوارىء المشهد الطبيعي وقياس المسافات المقطوعة بخيط المساح أمرين ممكنين. فبالنسبة

للنقطة البحرية، يكون المقدار الذي نبحث عنه هو مكان، في حين أن المعطى المعلوم هو زمان.

ومنذ أن أتاح اختراع البوصلة الإستغناء عن المعالم الساحلية، استعاد بحارة أواخر **القرون الوسطى** الإستعمال القديم، الذي أدخله في **قديم الزمان بطليموس**، الذي يرتكز على تعليم المواضع الجغرافية على الخرائط بواسطة خطها العرضي وخطها الطولي[1].

خط الطول هو الزاوية التي يجب تدويرها حول محور **الأرض** ونحن ننتقل على دائرة موازية لخط الإستواء (دائرة عرض) حتى نلتقي بخط الهاجرة المرجعي، أي خط باريس أو غرينوتيش. إنه أيضاً الزاوية التي يجب أن تُدوِّرها **الأرض** حول محورها حتى يكون الموضع الذي نوجد فيه قد أُعيد إلى المستوى المار بمحور **الأرض** و**شمس** الظهيرة في الموضع المرجعي. وأن نقيس هذه الزاوية يعني والحالة هذه، أن نقيس الفرق الزماني الشمسي الحقيقي بين الموضع المعتبر والموضع المرجعي. كيف والحالة هذه يقاس الاختلال بين السلمين الزمنيين؟ تكفي مقارنة دلالات الميقاتية الموضعية، المضبطوطة على الظهيرة عند مرور الشمس في خط الهاجرة، بدلالات رقيب الزمان للموضع المرجعي، الخاص بباريس أو غرينويتش.

إن الطريقة الأولى التي طرحت منذ القرن الثاني عشر كانت ترتكز على ملاحظة موقع **القمر** على كرة النجوم الثوابت والإستناد بعدئذ إلى تقويم فلكي لمعرفة الساعة الموافقة للموضع المرجعي. لكن هذه الطريقة (المدعوة طريقة المسافات القمرية) لم تكن تستطيع أن تطمح إلا إلى دقة بدائية، بسبب القد الظاهري للقمر وقربة النسبي، الذي يضلل في قياس اختلاف المنظر. وقد أدخلت طريقة فلكية علمية، أكثر نجاعة في حوالي عام ١٦٧٠، أدخلها كاسِّين، الذي كان

(١) هذه الممارسة كان تطبيقها قد أهمل في القرون الوسطى. وقد كان جغرافيو ذلك العهد يرسمون الخرائط بواسطة قياسات مسافية والسموت بين نقاط معلمية، الأمر الذي كان يمنحهم هذا المكان الخاص جداً في شكل بيت العنكبوت، وقد استلزم اختراع البوصلة وجسارة البحارة المتزايدة التخلص من عمليات المسح ومن مسجلات السرعة في السفن من أجل العودة إلى تعيين خطوط العرض وخطوط الطول مباشرة.

يستعمل الميقاتية العامة (الكونية) التي تؤمنها احتجابات أحد توابع **المشتري** الدورية.

ويعزى أول اقتراح لاستعمال رقيب زماني يُحمل على السفن ويُضبط على ميقاتية غرانويتش أو باريس كي يتيح في كل آن مقارنة الساعة الموضعية بساعة خط الهاجرة المرجعي (وبالتالي تحديد وضع السفينة) إلى صانع الميقاتيات جيماً فريزيوس، ونقرأ في مذكرة كتبها بخط يده في عام ١٥٥٣، فعلاً: «قبل أن تمضي في سبيلك، اضبط بعناية ساعتك على ساعة البلد الذي سوف تغادر، وركز كل انتباهك على مسألة عدم توقف ساعتك في الطريق. وعندما تكون قد سرت في طريقك بهذا الشكل، حدد ساعة الموضع بوساطة الإسطرلاب؛ قارن هذه الساعة بساعتك، فتحصل على خط الطول.». بيد أن دقة ميقاتيات ذلك العهد لم تكن تتيح التفوق على الطرق الفلكية التي سبق أن وصفناها. وحتى بعد إدخال النواس وبناء الميقاتيات البحرية الأولى على يد هويغنز بعد عام ١٦٦٠، ظلت الأخطاء في تعيين خطوط الطول غير مقبولة: فقبطان المركب هولمز، ارتكب أيضاً، وهو يجرب نواسات هويغنز في عام ١٦٦٩ عند قطعه /٥٥٠٠/ كم في جميع الإتجاهات، خطأ قدره /١٥٠/ كم في تحديد وضع السفينة، عندما قدم نفسه لدى عودته قاصداً جزر الرأس الأخضر. من ثم بلا شك أتى تفضيل البحار جان غونووين، دي لاروشيل، في القرن السالع عشر، للميقاتيات الرملية كرقيب زماني للبحرية.

وقد حصل نيوتن، رئيس الجماعة الملكية، في عام ١٧١٤، من البرلمان الإنكليزي على تنظيم مسابقة حول الأساليب التي تتيح قياساً أدق لخطوط الطول، مكافأتها /٢٠,٠٠٠/ جنيه استرليني للمخترع الذي ربما يتيح تقليص الخطأ في تحديد وضع السفينة إلى ٣٠ ميل (٤٨كم). وقد تبنت اكاديمية العلوم الباريسية اقتراحاً مماثلاً في عام ١٧١٨.

لم تتأخر النتائج: وقد انصبت التقدمات على التعليق، وميكانيكيات موازين الساعات، والرقاص، ونابض الجذب وبخاصة على تصحيحات تغيرات درجات الحرارة، إن هذه المسابقة على التطوير التكنولوجي، حيث اشتهر في القرن الثامن

عشر جون هاريسون وپيير لوروا وفيرديناند بيرتود، أتاحت تحديد مبادىء مقاييس الوقت البحرية التي تتيح تعييناً جيداً لخط الطول. وقد تجاوزت دقة تحديد وضع السفينة الدرجة الواحدة (٦٠ ميلاً) منذ عام ١٧٣٢، ونصف الدرجة في حوالي عام ١٧٦٠.

بهذا الشكل غدت المسابقة لتحقيق دقة الساعات البحرية العامل الحاسم من أجل تحسين موضَعة السفن في البحر. وتمنح الساعات البحرية الكوارتزية، في هذه الأيام، دقة بحيث لا يعود الخطأ في تحديد السفينة (وهو ميلان بحريان تقريباً) محدوداً بالمحافظة على الزمان المرجعي، بل بتعين الزمان الموضعي بواسطة السدسيات. وهذا الخطأ الذي نادراً ما يكون مزعجاً بالنسبة للملاحة البحرية التجارية، غير مقبول بالنسبة لتعيين مواقع المراكب الجوية، من حيث المبدأ، يرتكز تحديد الموقع على طائرة على المناهج ذاتها المستعملة في حالة السفينة. ومع ذلك نادراً ما يمارس هذا القياس الآن. ففي معظم الأحيان بعين موقع الطائرات والسفن انطلاقاً من شبكة مرسلات أمواج كهربائية لاسلكية على الأرض موقعها الجغرافي معلوم تماماً، أو أيضاً انطلاقاً من أقمار اصطناعية تحوي على متنها ميقاتيات ذرية[1].

التقنية الراهنة تؤكد من جديد أولوية الزمان

بهذا الشكل تكون مناهج تعيين المسافات الحديثة انطلاقاً من الزمان قد أتاحت تقدمات كبيرة من حيث الدقة، وبالنسبة لتقنيي هذه الأيام، يكون الزمان واقعياً أكثر من المكان، لأن الميقاتيات تكون أكثر دقة من المساطر المدرجة.

---

(١) إن الفاصلة الزمنية التي تفصل بين تلقي إشارتين على متن سفينة أو طائرة ارسلتا في اللحظة نفسها (زمان عام متناسق) من محطتي وضع معلوم تتيح معرفة حساب الفرق في المسافة بين المتلقي ومحطتي الارسال. والمحل الهندسي لمثل هذا الفرق هو قطع زائد. فإذا كررت العملية بوساطة مزدوجة أو عدة مزدوجات مرسلات، نستطيع أن نحدد بدقة موقع المحطة المستقبلة. فمنظومة، مثلاً تستعمل ٣ مرسلات متباعدة من / ٥٠٠٠/ إلى / ٦٠٠٠/ ميلاً. واستعمال مقارنات طوريه للاصدار يتيح جعل دقة الموضعة تبلغ ٠,٥ أو ١ ميلاً، ومنظومة نافستار، قيد التطور الآن سوف تستعمل عند اكتمالها شبكة من ١٨ قمر اصطناعي تغطي الأرض بأكملها كل منها مجهز بميقاتية ذرية مواقته، وسوف تتيح بلوغ دقة موضعة من عدة أمتار.

إن المناهج المؤسسة على استخدام مرسلات تستلزم أن نعرف سرعة انتشار الإشارات المستعملة. وقياس التفاوت الزماني بين تكة إرسال ورجوعها بعد انعكاسها على الشيء الذي نريد أن نقدر مسافته يشكل في الوقت نفسه مبدأ الرادار، عندما تكون الإشارة المرسلة واقعة في مجال الأمواج القصيرة، وقياسات المسافات باللازر، عندما تكون واقعة في مجال الأمواج المرئية، والسونار الخاص باستعمال أمواج صوتية، ويمثل قياس التفاوت الزماني بين إرسال فلاش (ومضة ضوئية) ورجوعها بعد الإنعكاس على حاجز المنهج الأفضل من أجل تعيين دقيق لمسافة (البعد) هذا الحاجز. وبفضل الإستعمال المشترك للازر وللميقاتيات الذرية الذي يتيح قياسات لا تتجاوز الإختلافات فيها واحد على مليار من الثانية، حققت الدّقة بصدد مسافات الأشياء البعيدة، كسطح القمر، تقدمات مذهلة، وقد قلصت الريبة بالنسبة لهذه المسافة، التي كانت عدة عشرات من الكيلو متر في حوالي عام ١٩٥٠، إلى عشرة سنتيمرات بفضل اقامة عدة عاكسات على سطح القمر وبمقدار ما كنا نحتفظ بمعايير متغايرة بالنسبة للمسافات وبالنسبة للمدد الزمانية، فإن الارتياب في المسافات المقاسة كان يرتبط بدرجة أقل بالإرتياب بمدة مسير الإشارة منه بالارتياب بسرعة الضوء.

ومنذ انعقاد **المؤتمر العام للأوزان والمقاييس**، في تشرين الثاني من عام ١٩٨٣، قُضي على هذه الصعوبة الأخيرة، فمن أجل التخلص من هذه التحديدات المقترنة بالارتياب بقيمة سرعة الضوء، قرر المؤتمر فعلاً تعديل منظومة الوحدات الدولية، وقد أتاح هذا التعديل تحديد قيمة اصطلاحية لسرعة الضوء، اختيرت مساوية ٢٩٩٧٩٢٤٥٨م/ في الثانية. وبالمقابل قرر المؤتمر التخلي عن تعريف كل معيار طولي وعدم الحفاظ إلا على المعيار الزماني، المعرف بواسطة تواتر إشعاع الكايسيوم. وبناء على هذه القرارات، فقد المتر قانونيته كوحدة أساسية، ولم يعد منذئذ غير المسافة التي يقطعها الضوء في ١/ ٢٩٩٧٩٢٤٥٨ من الثانية.

إن النتائج النظرية والعملية لهذه التعديلات كانت مهمة جداً. فالوحدة الطولية الطبيعية هي بدرجة أقل المتر، الذي ورثناه عن التقاليد القديمة التي ترجع

هذا المعيار إلى محيط الأرض أو إلى قضيب من البلاتين، مما هي الثانية ـ الضوئية أو مضاعفها السنة ـ الضوئية، التي استعملها علماء الفلك منذ زمن طويل، والتي غزت الآن كل مجالات الفيزياء. فالمكان والزمان، لكونهما مقترنين من الآن فصاعداً اقتراناً ثنائي الجانب بواسطة الثابت الفيزيائي C (سرعة الضوء)، فإن الدقة النسبية بخصوص القياسات الطولية تصبح بفعل الواقع ipso facto جيدة جودة الدقة في قياسات الزمان.

ومع ذلك تثير المنظومة القياسية الجديدة صعوبة: فهي تحول من حيث المبدأ دون فحص تغير افتراضي في سرعة الضوء في غضون العهود الكوسمولوجية. فصلاحية قوانين الميكانيكا، الضامنة لدقة آلات قياس الزمان الميكانيكية، تنطبق زيضاً على الميقاتيات الذرية. وصدق هذه الميقاتيات الذرية تعتمد على صلاحية قوانين الميكانيك الكوانتي وعلى استقرار السويات الطاقية الذرية، الذي طرح دوامه كمسلمة، وعليه، فإن التعريف الجديد للمتر يفترض إضافة إلى ذلك ثبات قيمة الثابت C (سرعة الضوء)، ولكي تحافظ هذه التعاريف على تماسكها خلال العصور، يجب التسليم إما بأنه لا يطرأ على قوانين الميكانيك والسويات الطاقية الذرية من جهة، وسرعة الضوء من جهة أخرى، أي تغير خلال القرون، وإما بأن تظل هذه التغيرات خلال القرون، إن وجدت، متناسبة فيما بينها باستمرار. بيد أن هذه التحفظات، الضامنة لتماسك التعاريف، ليست في الواقع إلا مصادرات، مسلم بها قبلياً. إن عواقب عدم صحة هذه المصادرات المحتمل ربما سوف تكون غير ملحوظة على السلم البشري، إذ قبل قرار **مؤتمر الأوزان والمقاييس** لم يمكن أن يتضح أي تغير قرني. بالمقابل، يمكن أن يكبح تبنّي هذه المصادرات (إن لم تقابل حقيقة خالدة) يشكل مفرط تفسير المعطيات الكوسمولوجية بالنسبة لإعادة بناء تاريخ **الكون** وتوقع مصيره.

* * *

الجزء الثاني

النظرية النسبوية للزمان السببي

الفصل السابع

سرعة الضوء محدودة

كان القدماء يعتقدون أن الضوء كان ينتشر على الفور، وقد كان هيرون، وهو فيزيائي يوناني عاش في القرن الأول الميلادي، أول من أبدى رأياً أكثر تفرداً. كان يتمسك بتأكيد أن سرعة الضوء يجب أن تكون كبيرة جداً لدرجة لا نستطيع معها قياسها. لكن هذا الموقف الحصيف لم يمنع كافة علماء **العهود القديمة** تقريباً، و**القرون الوسطى** وحتى **عصر النهضة** من أن يعتقدون بالإنتشار الفوري للضوء، وكان لا بد من صدف ملاحظة فلكية دقيقة، قادها الفلكي الدانماركي أولوس رومير لأغراض تقنية حتى يقتنع هذا العالم الفلكي بالطبيعة المحدودة. والقابلة للقياس التي تتصف بها سرعة انتشار الضوء. ولكون الرؤية هي الوسيلة الرئيسية لاتصال الإنسان بالعالم، كان من شأن هذا الإكتشاف أن يؤثر تأثيراً عميقاً على نظرية المعرفة. إنه في الواقع فتح الطريق إلى انقلاب في تصوراتنا الإبيستيمولوجية عن الزمان: فالضوء، بدلاً من أن يكون جوهراً، أو طريقة في ربط الحوادث فيما بينها، كان يغدو قبل كل شيء طريقة في ربط الحوادث بالملاحظ بوساطة الرؤية.

السعي بحثاً عن ميقاتية عامة (كونية)

رأينا أن تعيين خط طول، من أجل تحديد مواقع السفن أو من أجل معرفة الإحداثيات الأرضية لموضع، يتطلب مقارنة الساعة الشمسية بالساعة الشمسية لموضع مرجعي، وبمقدار ما كنا لا نمتلك ميقاتيات قابلة للنقل ودقيقة دقة كافية، كانت ساعة الهاجرة المرجعية تُحسب اعتماداً على موقع **القمر** في السماء، بالمقارنة مع جداول تقويم فلكي، بيد أن هذه الطريقة كانت تتطلب كثيراً من التصحيحات

المملة. غير أن الطبيعة توفر وسيلة أكثر دقة من أجل مقارنة ميقاتيتي مرصدين متباعدين: انخساف توابع المشتري الدوري. ففي الإرتياب فيما يتعلق بدقة ميقاتية مرصد يحتفظ بزمان خط الهاجرة المرجعي، يكفي أن ندون الساعة التي تحصل فيها مثل هذه الظاهرة وأن نقارنها بالساعة التي لوحظت فيها الظاهرة في غرينويتش أو باريس: فنحصل بهذا الشكل على التصحيحات التي يجب أن تجرى على دلالات الميقاتية الموضعية.

هذا هو شأن مبدأ المنهج الجديد الذي قرر تطبيقة إيراسم بارتولان، استاذ الفيزياء في جامعة كوبنهاغن، ومريده رومير وجون بيكارد (الأكاديمي الفرنسي الذي قاس طول خط الطول الأرضي وعبَّر بهذا الشكل مصير أعمال نيوتن) من أجل تعيين الموقع الجغرافي الدقيق لمرصد هڤين في الدانمارك، المرصد الذي استعمله فيما مضى تيخو براهي.

كان تابع المشتري الذي اقترحوا استعماله كميقاتية دليل (شاهد) هو التابع Io، الأقرب من هذا الكوكب من بين أربعة توابع اكتشفها غاليلي، ولكونه مرئياً تماماً بواسطة منظار ضعيف الإستطاعة، نرى أنه يغوص بانتظام (كل ٤٢ ساعة، و٢٨ دقيقة، و٣٦ ثانية) في مخروط ظل الكوكب. وقد أجرى، والحالة هذه، علماء الفلك الثلاثة في هاڤن سلسلة ملاحظات للتابع Io، في حين كان عالم الفلك الفرنسي كاسيِّني يجري الشيء نفسه، في باريس، التي كانت حينذاك تلعب الدور الذي نسب لاحقاً إلى غرينويتش، وقد دون كل فريق ساعات الإنخساف المتتابعة وفق دلالات الميقاتية الموضعية المضبوطة على الظهيرة حين تكون الشمس في الأعلى.

وقد أظهرت الملاحظات التي تمت، على ما يبدو، انتظاماً كبيراً في ظواهر انخساف Io. وربما كان ينبغي والحالة هذه أن نستطيع ترتيب رزنامة عن ذلك (أزياج فلكية) في شكل قائمة تتوقع تواريخ وساعات ظهور هذه الظواهر للمرصد المرجعي، وربما لن يعود الأمر يحتاج إلى استشارة مرصد هذا الموضع، بل فقط إلى

الرجوع إلى الأزياج، وقد كلف كولبير علماء الفلك لمرصد باريس بترتيب الجداول التي نحن بصددها، كما دعا كاسيني رومير للمجيء للإنضمام إليه في ذلك لمتابعة ملاحظاتهم.

بهذا الشكل اكتشفوا في عام ١٦٧٥ عدم انتظام في الفاصلة المقاسة بين خسوفين: فالدور يتغير في الواقع دوماً في غضون السنة، بما يزيد قليلاً على ثانيتين بالنسبة لقيمته الوسطية، ويكون أطول عندما تبتعد **الأرض** عن **المشتري**، وأقصر عندما تقترب منه، وفي أوقات الإقتران أو المقابلة، عندما تنتقل **الأرض** انتقالاً عمودياً على الخط الذي يصل النجمين، يبلغ الدور قيمته الوسطى.

وقد اقترح رومير أن يكون تأخر خسرف Io بمقدار ٢,٤ ثانية عندما تبتعد **الأرض** عن **المشتري** ممثلاً للزمن الذي استغرقه الضوء في قطع المسافة التي اجتازتها **الأرض** بين خسوفين[1].

كان ذلك الشرح جريئاً في عهد كان فيه فكر أرسطو وفكر ديكارت يمارسان تأثيراً عميقاً على المجتمع العلمي الباريسي. إذ إنهما كان بالفعل يُعلّمان ما مفاده أن الضوء ينتشر على الفور، وقد رفض كاسيّني لكونه متأثراً بهذه المحاكمات الباتة اتباع حدس رومير الشاب واستمر بلا جدوى في البحث عن شروح أخرى.

أعلن رومير، في أيلول من عام ١٦٧٦، لأعضاء **أكاديمية**، العلوم المتشككين، أن خسوف Io المتوقع أنه سوف يحصل في ٩ تشرين ثاني من العام نفسه سوف يكون ملاحظاً بتأخر قدره ١٠ دقائق بالنسبة لقوائم الأزياج التي أعدت على أساس الملاحظات التي تمت عند ما كان **المشتري والشمس** متقابلين. وفعلاً، بينما يبتعد **المشتري والأرض** عن بعضهما، يجمع التابع Io لا محالة، خسوفاً بعد خسوف، ثواني تأخر بالنسبة لبرنامج الأزياج، وقد بلغ، التأخر المتجمع حقاً عشرة الدقائق المتوقعة، في ٩ تشرين ثاني.

(١) بالفعل، يجب أن تقابل الفاصلة الزمنية بين ملاحظتين للأرض الزمن الواقعي بين خسوفين متتالين لـ Io، مضافاً إليه الفرق الزمني الذي يستغرقه الضوء كي يجتاز المسافة بين المشتري والوضعين المتتاليين للأرض.

إن رومير حسب أيضاً بأن الضوء ربما يستغرق ٢٢ دقيقة (التأخر الكلي خلال نصف سنة) لكي يجتاز قطر المدار الأرضي، أي ضعف المسافة بين **الأرض والشمس**، وهذه المسافة كانت قد بدأت تصبح معلومة بدقة كافية بحيث يستنتج رومير منها قيمة سرعة الضوء: وقد وجد بهذا الشكل أن الضوء يقطع قرابة /٤٠,٠٠٠/ فرسخاً في الثانية، أي /٢٢٥,٠٠٠/ كم. إن قيمة هذا التقدير الضعيفة جداً تتعلق بصورة رئيسية بالخطأ الذي ارتُكب في حساب الزمن الذي استغرقه الضوء في قطع قطر مدار الأرض، الذي لم يكن في الواقع غير ثلاثة أرباع القيمة التي كان قد أشار إليها رومير.

لم يقض الشرحُ الذي كان يقترحه، فيما يخص الظاهرة التي اكتشفها كاسيني وهو نفسه، على قناعة علماء **الأكاديمية**. فبعيداً عن قوة التقاليد وتأثير علماء الفلك القدماء والحديثين، كانت لا تزال باقية صعوبة من مرتبة تجريبية توقعها ديكارت، فلو كانت سرعة الضوء محدودة، فآنذاك ربما يكون لازماً أن يتغير الاتجاه الذي نلاحظ فيه النجوم «الثوابت، في أثناء السنة. وبالفعل، ربما يكون علينا، من أجل الحصول على الإتجاه «الظاهر» لنجم، أن نركب سرعة الضوء وفق الإتجاه «الحقيقي» لهذه السرعة مع سرعة انتقال **الأرض**(1). وحيث أن شعاع سرعة الأرض على طول مدارها يغير اتجاهه كل ستة أشهر (ليعود فيأخذ القيمة نفسها كل سنة)، فإن اتجاه ملاحظة النجوم، المعلّم في منظومة مرجعية ثابتة مربوطة بالشمس، ربما يتغير بشكل دوري، ففي عام ١٦٧٥، لم يكن علماء الفلك في **الأكاديمية** قد أدركوا أن قيمة «انزياغ النجوم» هذا كانت جدّ صغيرة بحيث لا يمكن أن تتوضح بواسطة الأجهزة التي كانوا يمتلكونها، وقد حاول بعض علماء الفلك، وكان ابن كاسيني منهم، ملاحظة ذلك، لكن جهودهم كلها ذهبت أدراج الرياح.

وفي عام ١٧٢٥، برهن عالم الفلك جامس برادلي وجود الانزياح، وحدد

---

(١) ظاهرة تركيب السرع هذه عادية جداً ومألوفة. فهي، مثلاً، تسلك بحيث تبدو قطرات المطر لشخص عداء كأنها لا تهطل شاقولياً، بل مائلة أكثر فأكثر، في مواجهته، بمقدار ما يزيد من سرعته الأفقية الخاصة. وهي أيضاً تسلك بحيث يبدو اتجاه الريحُ على سفينة شراعية سريعة مختلفاً عن اتجاهه على الأرض اليابسة (البر).

قياساً له دقيقاً دقة كافية، بفضل قطاع سمتي كبير بقياس ٤ أمتار بني لهذا الغرض. وقد أظهرت الملاحظات التي تمت بواسطة هذا الجهاز أن النجوم ترسم على القبة السماوية قطعاً ناقصاً سنوياً قطرهُ الكبير يغطي مسافة زاوية قوسها ٤٠ ثانية.

لم تؤكد قياسات برادلي الطابع المحدود لسرعة الضوء وحسب، بل أتاحت أن نقدم لها تعييناً جديداً، مستقلاً عن الأول: فقدُ القطع الناقص هو فعلاً مقترن مباشرة بالزمن الذي يستغرقه الضوء لقطع قطر مدار الأرض، وقد كانت القيمة التي وجدها برادلي بالنسبة لهذا الردح من الزمان، كانت ١٦ دقيقة بدلاً من الـ ٢٢ دقيقة التي أشار إليها رومير، الأمر الذي يقود إلى تحديد سرعة للضوء تقرب من /٣٠٠,٠٠٠ / كم في الثانية.

إن علماء الفلك في باريس، وقد اقتنعوا أخيراً بهذا الدليل الجديد، أبدوا بعد الوفاة الإحترام والإعتراف بالفضل لرومير: وقد علقت لوحة تذكارية في المكان الذي كان يحاضر فيه!

كان لاكتشاف محدودية سرعة الضوء، في القرن الثامن عشر، نتائج هامة فيما يتعلق بتصورات عن المكان والزمان، وكان ذلك الصدمة الأولى ضد زمان نيوتن المطلق، خطوة أولى نحو رجوع إلى اسبقية الزمان الموضعي، فقد تعلمنا أن نميز بين التاريخ الذي تدرك فيه حادثة والتاريخ الذي تحصل فيه بالفعل وقد بدأ الفلكيون الشعبيون يتفكرون بصدد آلات ترجع القهقرى في الزمان. وقد كتب، في القرن التاسع عشر، كاميل فلاماريون، الأكثر شهرة من بينهم، في مؤلفه Lu-men القصة الخيالة عن رحالة قذف في المكان بسرعة /٤٥٠٠٠٠/ كم في الثانية، حيث أنه كان مجهزاً بمنظار فلكي ذي استطاعة قوية، كان يرى الحوادث تجري على **الأرض** بالمقلوب، تماماً كما يحصل لفيلم ملفوف بالعكس، وتظهر نظرية النسبية لاحقاً بطلان مثل هذه الأحلام، حيث أن أية رحلة تفوق سرعتها سرعة الضوء هي أمر ممتنع. بيد أن فكرة نسبية القياسات المكانية والزمانية، المؤسسة على محدودة سرعة إنتشار الإشارات الضوئية، كانت قد وجدت قبلياً متضمنة في كتابات هذه التقاليد الروائية الخيالية، التي دشنتها اكتشافات رومير.

الفصل الثامن

أنشتاين والنسبية

إن الزمان والمكان ليسا وحسب مقترنين من خلال ممارسة قياسهما. إن مَعْلَمَةَ الحوادث بواسطة پاراميترات (ثابتات) مستقلة عن المكان والزمان نفسهما، مثلما كان قد اقترحها نيوتن، تستوجب في الواقع جانباً جزافياً كبيراً جداً، خاصة بعد اكتشاف محدودية سرعة الضوء، كان يجب أن يعاد طرحه للبحث. وهذه المعلَمة تفترض بالفعل أن يكون الزمان هو هو في كل مكان وأن يجري بشكل منتظم بالنسبة للجميع وفي كل المواضع، وبشكل متناظر، وأن تكون القياسات المسافية بين نقطتين متماثلة دائماً، مهما كانت الشروط الواقعية لقياسها. لكن ما هي الشروط الواقعية لقياسات الفواصل الزمانية والمكانية؟ وكيف نستطيع أن نتأكد بأن الزمان يجري حقاً بالطريقة نفسها بالنسبة لجميع الملاحظين؟

رأينا كيف أن اختراع، ثم تحسين الميقاتيات، كان يتيح مَشْرَكَة، إجماعية الزمان المعاش. وطالما كان الأمر أمر تجارب من الحياة الواقعية، مختبرة في موضع بعينه، يسهل الحصول على وفاق فيما يتعلق بتواريخ وساعات الحوادث المعينة. لكن الأمر على غير ذلك عندما يكون المقصود قياسات دقيقة في إطار تجارب علمية، بين ملاحظين متباعدين ومن باب الإحتمال متحركين بعضهم بالنسبة للبعض الآخر.

وقد كان أنشتاين هو من يعود الفضل إليه في إعادة النظر في أمر البناء الذي أقامه نيوتن، النظرية الفيزيائية المؤسسة على فك الاقتران بين المكان الديكارتي والزمان المطلق والعام. لقد أثبت بالفعل الإمتناع العملي لتواقت ميقاتيات عندما تكون متحركة بعضها بالنسبة للبعض الآخر مهما بلغ من ضعف هذه الحركة. وقد

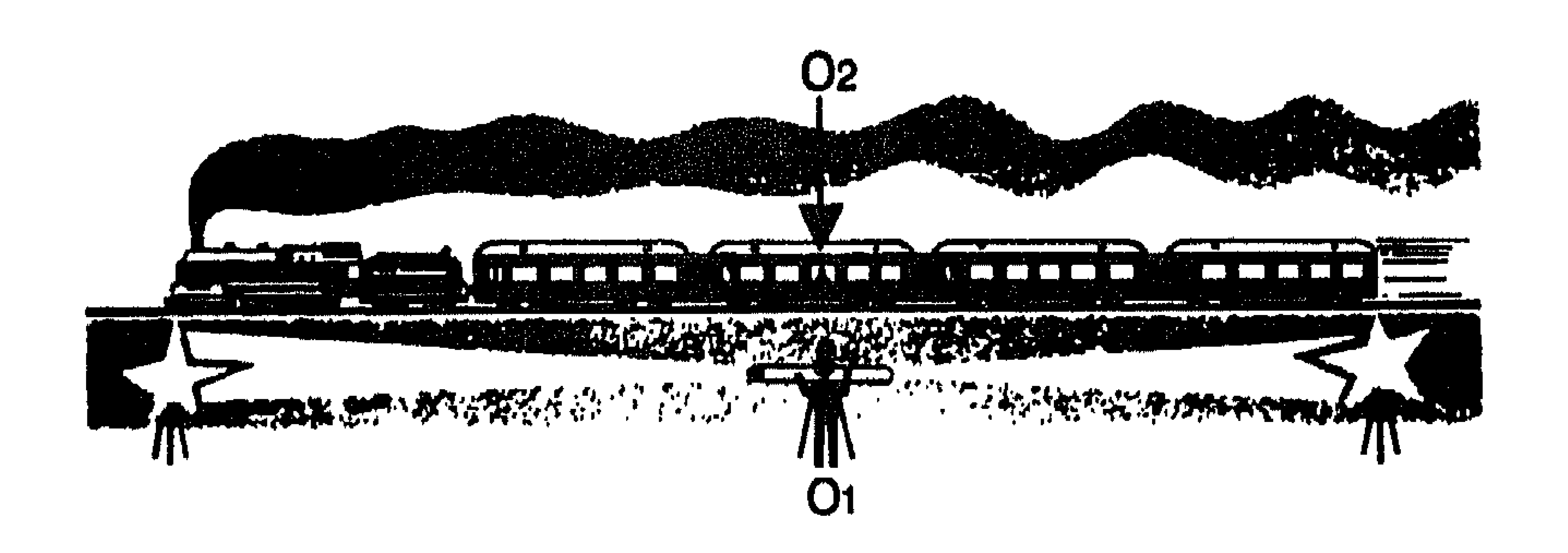
وضع في وضح النهار، بهذا الشكل، الطابع الجغرافي لمخطط نيوتن الزماني العام. وحينذاك تمسك بإعطاء دلالة إجرائية دقيقة للمفهوم الزماني، وبالتالي بإعادة تعريف التواقت (الحدوث معاً) باستدعائه عمليات فيزيائية بحتة (قراءة دلالة ميقاتية، قياس مسافي بواسطة مسطرة، نقل إشارات تنتشر بسرعة معينة). وقد فتحت الطريقة الجديدة في المعلمة وترتيب الحوادث في العالم التي نتجت عن ذلك، حينذاك، الطريق إلى تطوير بناء جديد للنظرية الفيزيائية، إلى النظرية النسبية.

إعادة جعل الزمان النيوتوني موضع خلاف

تروي نكتة أن انشتاين، منذ أن بلغ عامة السادس عشر، كان قد أصبح يتفكر، عندما كان طالباً في ثانوية آرو، في المسائل التي تطرحها محدودية سرعة الضوء. ساءل نفسه عما ربما سوف يحدث، لوعنَّ له، وهو في مركب سريع جداً، أن ينظر إلى نفسه في مرآة، في ذلك العهد، كنا نعرف أن الضوء هو اهتزاز كهراطيسي، وكنا نتصور حامل هذا الإهتزاز على أنه مادة دقيقة وغير وازنة كنا ندعوها الأثير. وكنا نفترض بأن الأمواج كانت تنتشر في الأثير (بسرعة C، أي سرعة الضوء)، شأنها شأن تموجات سطح مستنقع، بفضل اندياحات متتابعة في سطح الماء. كان يعتقد، بأن متحركا كان يستطيع، وهو ينتقل بسرعة كبيرة جداً، بالنسبة للأثير، أن يلحق بجبهة موجة الضوء، وحتى أن يتجاوزها. كان أنشتاين يعتقد والحالة هذه، أنه في الحالة التي تخيلها، إذا ما أبقي على المرآة في اتجاه حركة المركب الكوني، فسوف يستغرق الضوء المرسل زماناً أكبر فأكبر كي يبلغ المرآة، كلما كانت سرعة مركبة **سر** تقترب من سرعة الضوء C، وكان أنشتاين يعتقد، بأن الصورة التي يتلقاها، ربما سوف يكون لازماً أن تنفصل عنه هو نفسه بالتدريج، من هذا القبيل أنها ربما سوف تمثله، لا في اللحظة الحاضرة، بل في وضع سابق، وإذا كان المركب ينتقل بسرعة الضوء بالنسبة للأثير الساكن، فإن الصورة سوف تختفي لا محالة، إذ أن المركب ربما سوف يرتحل حينذاك والأمواج الضوئية معاً، الأمواج الضوئية التي ربما سوف تصبح منذئذ، في كنف المركب، أمواجاً مستقرة.

إن أنشتاين تابع، بدءاً من تشرين أول ١٨٩٦، دراسته في معهد البولتيكنيك في زورنج. ولكونه كان يهمل في معظم الأحيان تعليم أساتذته الرئيسي، درس لوحده أعمال ماكسويل ولورنتز حول الكهراطيسية. وقد كانت تأملاته، التي لم تكن عديمة الصلة بتساؤلاته الأولى حين كان طالباً ثانوياً، كانت تنصب على صعوبات النظرية، عندما نطبقها على أجسام متحركة. وبعد كثير من التردد انتهى به الأمر بأن اقتنع أن مفتاح الصعوبات الوحيد كان يكمن في مراجعة المفهوم الزماني النيوتوني. ووفق ذكرياته الخاصة، أتته هذه الفكرة بشكل مفاجىء إلى حد كاف، إثر محادثات مع صديقه ميكيلو نجلو بيسّو، في غضون شهر أيار من عام ١٩٠٥: «خطر لي أخيراً آن الزمان كان هو المشكوك فيه... فالزمان ليس معرفاً بشكل مطلق بل على اتصال لا ينفصم بسرعة انتشار الإشارات.». ومن المرموق أن يكون أنشتاين، بهذا الشكل، بناء على ما قام به غاليليه، قد تبين من جديد أهمية المفهوم الزماني الأساسية بالنسبة لبناء نظرية فيزيائية.

تستطيع، من أجل توضيح الأسباب التي دفعت أنشتاين إلى التشهير بالطبيعة الجزافية للمفهوم الزماني النيوتوني المطلق، أن ننوه معه بتجربة فكرية بينة بوجه خاص. لنتصور قطاراً يسير بسرعة معينة على سكة حديدية. تسطع لمعتان بمحاذاة السكة في نقطتين متباعدتين. فالـ«حسن المشترك» يوحي، بمعيار التواقت (الحدوث معاً) التالي: إن اللمعتين تكونان متواقتين إذا أُدرِكتا في اللحظة نفسها في النقطة O1



الواقعة في وسط الطريق بين حاملي اللمعتين على السكة. فملاحظ على السكة يستطيع بالفعل أن يتحقق بسهولة أن اللمعتين متواقتان حقاً بالنسبة له، باستعماله هذا التعريف. لنحدد الآن مقصورتي القطار اللتين توجدان بالضبط في مواجهة حاملي المعتين في اللحظة التي تسطع فيها اللمعتان. ولتكن O2 نقطة القطار التي تحدد الوسط بين النقطتين السابقتين. هل إن مسافراً جالساً في O2 في القطار سوف يرى هو أيضاً، اللمعتين في اللحظة نفسها؟ كلا: إنه سوف يرى اللمعة الواقعة في الإتجاه الأمامي للقطار قبل أن يرى اللمعة الواقعة في الإتجاه الخلفي، لأنه ينتقل مع القطار لملاقاته اللمعة الأولى وعلى العكس يبتعد عن اللمعة الثانية في الوقت نفسه الذي ينتشر فيه الضوء الذي تصدره هاتان النقطتان.

بهذا الشكل، ألا تجعل محدودية سرعة انتقال الإشارات الضوئية المستعملة في التأريخ الواقعي للحوادث على بعد تبني تعريف للتواقت لالبس فيه أمراً ممتنعاً. إن بطلان الإقتراح النيوتوني لزمن مطلق، يكون هو هو بعينه بالنسبة لجميع المنظومات المرجعية، يغدو جلياً.

حول إلكترو ديناميكا الأجسام المتحركة

أن نلاحظ بأن أنشتاين لم يتعرض على الفور لانتقاد المفهوم الزماني بل عندما احتاج إلى تفكير معمق حول موضوع تقني، أمر لا يخلو من الأهمية: والموضوع التقني يخص بعض الأوجه المفارقة للدنياميكا الكهربائية للأجسام المتحركة. فوفق النظرية الكلاسيكية، يمكن أن يكون لتيار كهربائي بعينه محرّضٍ في جسم ناقل متحرك سببان مختلفان، من طبيعة كهربائية أو مغناطيسية، وفقاً لجملة الإحداثيات المختارة من أجل وصفه. وقد قاد التفكير حول هذه المسألة المحددة أنشتاين إلى أن يعيد جعل الزمان النيوتوني موضوع خلاف، مثلما اقتيد غاليليه إلى انتقاد النموذج الهندسي لشرح الفيزياء بصدد مسألة سقوط الأجسام.

في أثناء إقامة أنشتاين في **بوليتكنيك زوريخ**، كان لقراءته كتاب أوغست فوپل الذي عنوانه **مدخل إلى نظرية ماكسويل الكهربائية** أهمية حاسمة على اتجاه

تفكيره. فأنشتاين اندهش من اللاتناظر الذي أبقت عليه نظرية ماكسول في معالجة أمر التيار المحرَّض في ناقل متنقّل نسبياً بالنسبة لحقلٍ مغناطيسي.

ليكن لدينا حلقة نحاس ومغناطيس. لنمسك بيدنا حلقة النحاس ولننقلها أمام المغناطيس الموضوع على الطاولة، أو العكس لنمسك المغناطيس بيدنا ولننقله أمام حلقة النحاس الموضوعة على الطاولة، فالتجربة تظهر أنه يتجلى في الحالتين تيار «محرَّض» في حلقة النحاس. ولهذا التيار بالطبع القيمة نفسها في الحالتين، شريطة أن تكون الاتجاهات والسرعة النسبية للجسمين هي بعينها. والحال، هو أن شرح الظاهرة، وفق نظرية ماكسويل، تختلف في الحالتين، فللتيار المحرَّض سببان مختلفان، حسبما يكون الناقل يتنقل في حقل مغناطيسي ثابت (وفي مثل هذه الحالة يعزى التيار إلى انحراف الجزئيات المشحونة الحاضرة في الناقل والمتحركة معه، بفعل الحقل المغناطيس) أو أن يكون المغناطيس المسؤول عن الحقل المغناطيسي هو الذي يتنقل أمام حلقة النحاس الثابتة (وفي مثل هذه الحالة يُعزى التيار لظهور حقل كهربائي محرَّض يفعل فعله على شحنات الناقل الثابتة). وتتوقع النظرية بأن يكون للتيار القيمة نفسها في الحالتين، بيد أن هذه النتيجة تبدو على أنها ظرف طارىء، إذ يتعلق الأمر بمفعولي سببين في مثل هذا التيارين.

والحال، هو أن النظرية النسبية تحل هذه المفارقة التي لا تشرحها نظرية ماكسويل. فالحقل المغناطيس والحقل الكهربائي لا يعودان فيها معتبرين على أنهما مقداران من طبيعة مختلفة، بل على أنهما مسقطان أو وجهتا نظر خاصتان عن مقدار وحيد، هو الحقل الكهراطيسي. على النحو نفسه الذي يتوقف فيه طول وعرض الجسم الظاهران على الزاوية التي ننظر إليه ضمنها، والحقل المغناطيسي والحقل الكهربائي يتعلقان بالمرجع الكيفي المختار الذي بالنسبة إليه تكون الأجسام ساكنة أو متحركة.

مصادرتا النسبية الأساسيتان

كان كل مدى تفكير أنشتاين بخصوص قيمة سرعة الضوء المحدودة

وحركات الأثير بالنسبة للأرض والمنابع الضوئية والأوجه المفارقة للألكترودنياميكا، يكمن في توحيد هذه العناصر (الكهراطيسية ومبدأ نسبية الحركة) في منظومة نظرية متماسكة.

إن أنشتاين، بفتحة الباب لتعريف جديد للزمان في علاقاته مع المكان، كان قد أدرك مباشرة أنه ربما يستطيع أن يبقي على معادلات ماكسويل في صيغها الحصيحة، التي تثبت قوانين الكهراطيسية وتتوقع ثبات سرعة الضوء في جميع الجمل المعلمية العطالية. وقد اعتبر حينذاك هذه الخاصة على أنها نتيجة لا تمس، وطرح كمبادىء أساسية لكل نظرية فيزيائية مستقبلية المصادرتين التالتين:

- **مصادرة النسبية**: إن مفهوم السكون المطلق النيوتوني، أي السكون بالنسبة لمكان مطلق، لا أساس له لأنه لا يقابل شيئاً ممكنةً ملاحظته. ولا تمتلك الظواهر الالكترودنياميكية أو الميكانيكية أية خاصة تتطابق مع هذه الفكرة. ومفهوم الأثير اللازم من أجل تجسيد هذا السكون المطلق في حالة الأمواج الكهراطيسية، غير مُجْدٍ، ويمكن والحالة هذه أن يتم التخلي عنه.

- **مصادرة ثبات سرعة الضوء**: إن سرعة الضوء مستقلة عن حركة منبعها، كما تتوقع ذلك صراحة نظرية ماكسويل.

إن هاتين المصادرتين ربما تكونان، في إطار الزمن المطلق النيوتوني، متعارضتين فيما بينهما. بالفعل، يدل القانون الغاليلي في تركيب السرعة على أنه، إذا كانت سرعة المنبع المقاسة في منظومة الأثير الساكن (منظومة في حالة سكون مطلق) هي سر، حينذاك يجب أن تكون سرعة الضوء الصادر، المقاسة في المنظومة المرجعية نفسها، C + سر. هذه القاعدة، المستعملة ضمنياً، تقود إلى النتائج الغريبة التي توقعها أنشتاين اليافع عندما كان يتخيل أنه ينظر إلى مرآة في مركب سريع جداً. فالتوفيق بين المصلدرتين السابقتين يتطلب والحالة هذه مراجعة مبادىء الميكانيكا القاعدية. وهي مراجعة ممكنة في النطاق الذي يكون فيه الإختيار الذي حدده نيوتن من أجل تعليم الحوادث في المكان والزمان كيفيا ويمكن أن يكون معدّلاً

بطريقة ملائمة. وفي الواقع، تفرض المصادرتان بصورة دقيقة ووحيدة الشكل الذي يجب أن يتخذه هذا التعديل: الشكل المقونن في «تحويلات لورانتز».

والمصادرة النسبوية بحصر المعنى، التي تدين إليها نظرية أنشتاين باسمها، هي أولى المصادرتين المنصوصتين أعلاه. والأمر في الواقع هو أمر مدّ طبيعي لمصادرة النسبية الغاليلية، التي وفقها لا نستطيع أن نكشف، بواسطة تجربة ميكانيكية ما، ما إذا كانت حركة المختبر الذي نجري فيه هذه التجربة مستقيمة ومنتظمة بالنسبة لـ «مكان المطلق» (الذي يجسد عادة بمنظومة مرجعية مرتبطة بالنجوم الثوابت). إن المصادرة النسبوية توسع النص السابق ليشمل جميع التجارب الفيزيائية، سواء كانت من طبيعة ميكانيكية أو كهراطيسية.

تمدد الزمان وتقلُّص الأطوال

منذ أن يفقد الزمان طابعه المطلق، يمكن أن يتعلق قياس فاصلة زمانية بين حادثتين بمنظومة الإحداثيات المستعملة كمعلَم. بالفعل، كنتيجة مباشرة لتحويلات لورانتز، لا يُبقَى لا على القياسات الزمانية ولا على القياسات المسافية عندما ننتقل من جملة معلمية عطالية إلى جملة معلمية أخرى متحركة حركة انسحابية بالنسبة للأولى.

والفاصلة الزمانية التي تفصل بين حادثتين حصلتا على التتابع في النقطة نفسها تكون أكبر في الجملة المعلمية الثانية: وذلك هو تمدد الأزمنة. وهذه الخاصة المرموقة لم يتم التحقق منها تجريبياً للمرة الأولى إلا في عام ١٩٣٨، عندما بُرهنَ أن مدة حياة الجزئيات غير المستقرة التي تنقلها الأشعة الكونية (بسرع قريبة من سرعة الضوء) كانت أطول كثيراً، عندما تكون مقاسة في المختبرات الأرضية، مما تكون حينمتا تلاحظ هذه الجزئيات نفسها في حالة السكون.

من جهة أخرى، تكون المسافات المقاسة على أشياء في حالة سكون في الجملة المعلمية الأولى أطول مما تكون حيتما تكون مقاسة في الجملة الثانية: إن تقلص الأطوال، هو ما يشرح نتيجة التجارب السلبية كتجارب ميكلسون

ومورلي[1]. وقد عرض أنشتاين في مقاله المؤرخ في حزيران ١٩٠٥ في مجلة Annalen der Phgsik، مفارقة الكتروديناميكا النواقل المتحركة وانتقد مفهوم التواقت في الميكانيكا النيوتونية. لقد نص مصادرات النسبية وبرهن معادلات تغيير الإحداثيات اللورونتزية[2]، بتطبيقها على تمدد الأزمنة وتقلص الأطوال، كما على امتناع أن يبلغ جسم في حركته سرعة الضوء. بذلك تم التوفيق بين الميكانيكا والألكترودنياميكا، وانفتح الطريق من أجل النص، بعد ذلك بعدة أشهر، على التكافؤ بين المادة والطاقة[3]: $E=mc^2$. أي الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء.

السببية المنتشرة

إن نصوص أنشتاين حررت، في مقال حزيران من عام ١٩٠٥، بشكل يبدو أنه يحد من مداها الإيبيستيمولوجي. إنه رفض مفهوم السكون المطلق، لكنه لم يكن قد كتب بعد بأن شكل معادلات الفيزياء يجب أن تظل هي هي بعينها في جميع الجمل المعلمية العطالية». وقد أكد ثبات سرعة الضوء، لكنه لم يقم بأي إرجاع إلى أية سرعة حدية لنقل الطاقة في الخلاء، أو لنقل معلومة. وقد اكتفى بعرض تقني للنتائج التي تم الحصول عليها على قاعدة مصادرتي النسبية، في اتصال بألكتروديناميكا الأجسام المتحركة بخاصة.

في الواقع، في عام ١٩٠٥، لم يكن يبدو بعد أن أنشتاين كان قد أدرك تماماً الطبيعة الحقيقية للثورة التي أدخلها للتو، فنقد مفهوم التواقت (الحدويث معاً) يعتمد على انتشار إشارات ضوئية ومصادرة النسبية تضع انتشار الضوء في مركز النظرية الفيزيائية لكن لماذا جعل سرعة الضوء تلعب مثل هذا الدور في وصف

(١) كان هدف تجارب ميكلسون ومورلي هو أن يوضحا بواسطة التداخل بين حزمتين ضوئيين تنتشران صانعتين فيما بينهما زاوية قائمة، اختلاف مسار ضوئي بين الحزمتين، وفق الميكانيكا النيوتونية ينبغي أن يدخل مثل هذا الإختلاف في المسار الضوئي بالضرورة بين ذراعي المقياس التداخلي، منذ أن يكون هذا المقياس غير موجود في حالة سكون مطلق.

(٢) تحمل صيغ تحويل الإحداثيات في النسبية الخاصة اسم لورنتز لأنه كان قد سبق أن اقترحها قبلاً، لكن على أسس «خاصة ad hoc» وليس باشتقاتها من مصادرات النسبية. وكان أنشتاين يجهل عمل لورانتز هذا، في عام ١٩٠٥.

(٣) العلاقة الشهيرة $E=mc^2$، التي تثبت أن كل كتلة في حالة سكون هي مخزن طاقة هائل، والعكس أن لكل طاقة كتلة قابلة لأن تخضع للجاذبية العامة، هي نتيجة أخرى لتحويلات لورانتز، أثبتها أنشتاين في عام ١٩٠٧.

الطبيعة؟ وما هو أصل هذا الإستبداد المزعوم، المدعم بعدياً a Posteriori بواسطة النتيجة المنصوص عنها التي وفقها تكون سرعة الضوء سرعة حدية لا يستطيع أي جسم مادي أن يبلغها، إذ ربما كان الأمر سوف يحتاج إلى صرف طاقة لانهائية لإبلاغه إياها؟ هل سوف يقال بأن كامل تجاربنا تقريباً يتوسط فيها النظر واستخدام الأشعة الضوئية؟ إنه شرح غير كافٍ: فالفيزياء التي قد يطورها شعب من العميان ربما سوف تكون بدون أدنى شك من حيث الشكل كفيزيائنا ذاتها. لا بد والحالة هذه من أساس آخر لتفوق سرعة الضوء.

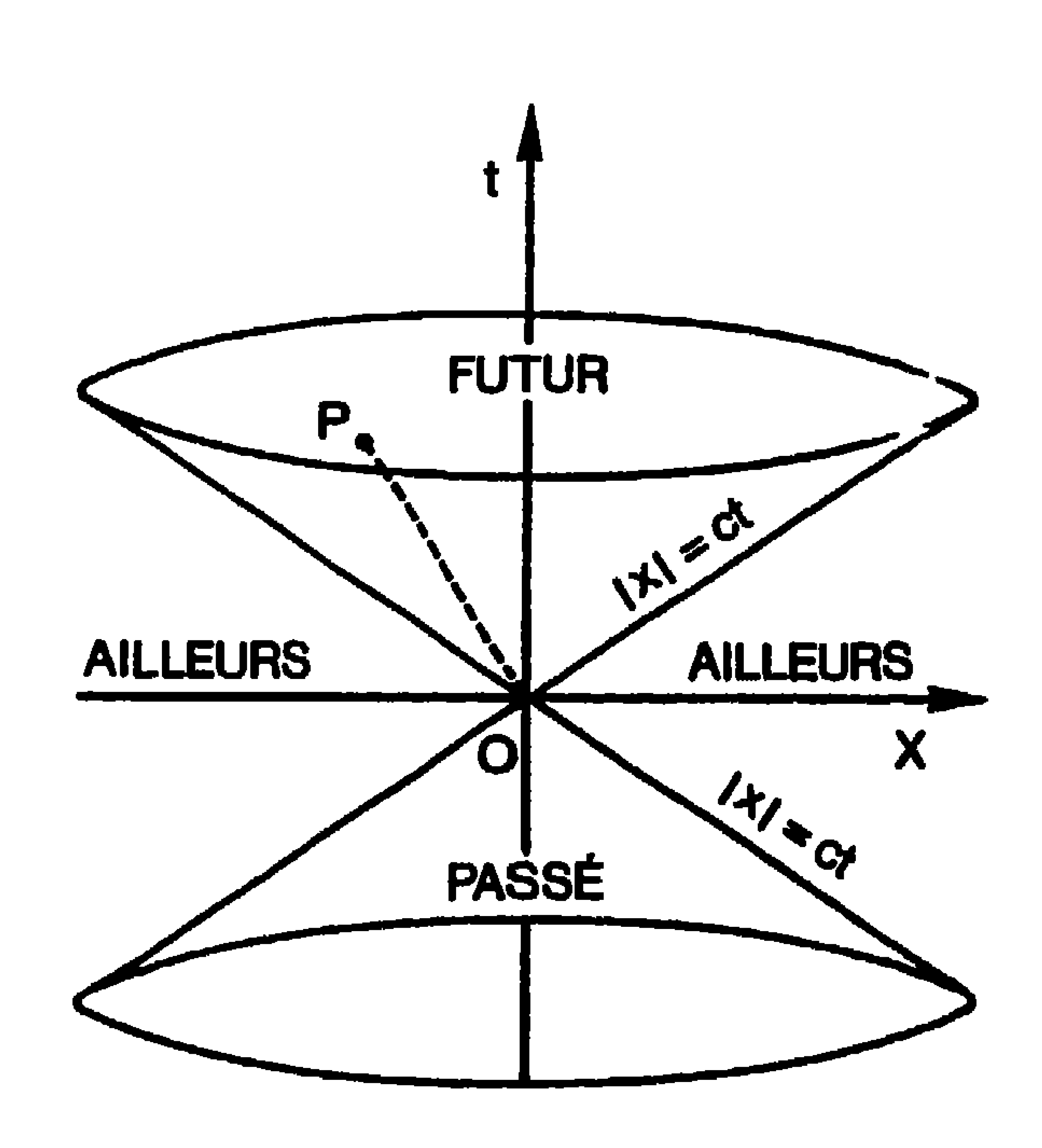
إن كثيرين من الإيبيستيمولوجيين يقدرون أن أنشتاين قد أدخل في الواقع، في عام ١٩٠٥، نظرية فيزيائية حجر المحك فيها هو نموذج السببية المنتشرة بالسرعة C (سرعة الضوء). وفي نظرية النسبية، الزمان هو معلم (ثابتة Parametre) يتيح أن نعنون بترتيب متزايد النقاط - حوادث التي تجمعها سلسلة سببية أو قابلة لأن تكون سلسلة سببية. إن تغير نمط تعليم الحوادث في الزمان وفي المكان بشكل يتفق مع تحولات لوراتنز هو نتيجة هذا الترتيب المطلق الذي تنظمه السببية المنتشرة. فالنظرية النسبية هي إذاً نظرية سببية للزمان.

في الواقع، لم يكن أنشتاين نفسه هو من خطا الخطوات الأولى على هذا الطريق، بل هيرمان مينكوفيسكي، أستاذه القديم، فمينوفيسكي نشر، في عام ١٩٠٧، موضوعاً عنوانه هو «المعادلات الأساسية للظواهر الكهراطيسية للأجسام المتحركة» وألقى، في السنة التالية، محاضرة مدوِّية عن «الزمان والمكان». أطلق فيها تعنيفاً استفزازياً: «يا سادة، إن الأفكار عن المكان والزمان التي أبغي عرضها أمامكم تمد جذورها في الفيزياء التجريبية. . . من الآن فصاعداً، يجب أن يكون المكان بما هو مكان والزمان بما هو زمان معتبرين على أنهما باطلين، في حين أن اجتماع هذين العاملين وحده يحافظ على قيمته[1]».

---

(١) هيرمان مينكوفيسكي، «المكان والزمان»، محاضرة ألقاها في كولونيا، في عام ١٩٠٨، وأعيد نشرها في: Ann, des Phoys, 1915,47:997 والجملة المشار إليها يمكن أن تبدو بحق مبالغاً فيها. فالمفهوم الزماني الخالص الذي يحدد تحرك منظومة، ملاحظاً في جملة معلمية تكون بالنسبة إليها هذه المنظومة ساكنة، يكفي لتحديد كل نوعية الزمان بالنسبة للمكان.

إن مينكوفيسكي بعد أن كان قد أدخل شكلياً المكان ـ زمان ذا الأبعاد الأربعة (حيث يكون البعد الرابع هو الزمان المحول إلى مكان بفضل ثابت التحويل C)، قسم هذا المكان ـ زمان إلى قطاعات تدعى «ماضي»، «مستقبل» و «ما بقي من المكان ـ زمان». وحدها حوادثُ الماضي يدركها ملاحظ موضوع في المبدأ، وهذا الملاحظ لا يستطيع أن يمارس تأثيراً إلا على الحوادث الواقعة في المستقبل ـ والحوادث التي تتخذ مكاناً لها في «ما بقي من المكان ـ زمان» لا يمكن لا أن تكون معلومة من جانبه، ولا متأثرة به.



أظهر مينكوفيسكي أنه، إذا ما كانت القياسات الزمانية والمكانية تتغير عندما ننتقل من جملة إحداثيات عطالية إلى جملة أخرى، فإن مسافة عرفها على أنها الـ «المسافة الكونية[1]» تظل بالمقابل ثابتة. والمسافة الكونية بين نقطتين ـ حادثتين واقعتين على المسار الضوئي نفسه تكون معدومة. وبالنسبة للاحظ، تكون النقاط ـ الحوادث الواقعة في الماضي أو في المستقبل على مسافة كونية (ذات مربع) سالبة. ونقاط «ما بقي من المكان ـ زمان تكون واقعة على مسافة كونية موجبة، على هذا الحال، ألا يعين، في النسبية، استخدام الإشارات الضوئية، بما هي حاملة ممكنة **لتأثيرات سببية**، بنية **الكون**.

في عام ١٩٠٥، كان أنشتاين بعد نشر مقاله ببعض الوقت، قد انحاز بخصوص مسألة السببية، قبل التعميم الذي اقترحه مينكوفيسكي وهذا هو ما يظهره تبادل المراسلات مع فيليب فرانك، الذي كان قد نشر للتو موضوعاً عنوانه «سببية ومعرفة»: «دوّن فرانك حول هذا الموضوع، كان أنشتاين متفقاً معي، بأنه مهما يمكن أن يحصل في العالم، لا نستطيع أبداً أن نبرهن أن قانون السببية قد انتهك. ونستطيع دائماً أن ندخل اصطلاحياً مصطلحاً بحيث يظل هذا القانون صالحاً. لكن ربما سوف يكون ممكناً أن تصبح بهذه الطريقة لغتنا ومفرداتنا معقدة أعظم تعقيد وقليلة الملاءمة».

إن النظرية النسبية تستجيب لمسألة إنقاذ مبدأ السببية، يضاف إلى ذلك، أنه الجواب الوحيد الوافي بالمرام في حالة سببية منتشرة في الخلاء بسرعة C (سرعة الضوء). وذاك هو ما من أجله يحلّ بعض المؤلفين في هذه الأيام صياغة أخرى محل نص مصادرة النسبية الثانية، كما نجدها في موضوع أنشتاين لعام ١٩٠٥: ففيه تحل سرعة انتشار الإشارات الحاملة إعلاماً محلّ سرعة الضوء. فمن جهة، يعمم هذا الإبدال الصياغة الأصلية، في النطاق الذي نستطيع فيه أن نتصور تأثيرات منتشرة ربما تنتقل بواسطة وسائل أخرى غير حامل الأمواج الضوئية (بواسطة أمواج

(١) إن المسافة الكونية بين نقطتين ـ حادثتين معطاة بالقانون $d^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2$. وهذا التعريف يعمم، في المكان ـ زمان، ذي الأبعاد الأربعة، مفهوم المسافة المكانية في المكان الديكارتي ذي الأبعاد الثلاثة.

ثقالية مثلاً). ومن جهة أخرى، ربما نستطيع أن نسلم بانتشار طاقة بسرعة أكبر من سرعة الضوء، شريطة أن يكون هذا الإنتشار يخص ظواهر غير قابلة لتوسيط انتشار سبب.

كثر الكلام في هذه السنوات الأخيرة عن ظواهر «عدم قابلية الفصل» بين منتجات تفكك ذري تستتبع النقل الآني على بعد **لتأثير** قابل لأن يعدل ملاحظات إحصائية عن هذه التفككات. لكننا نتأكد من أن هذه الظواهر لا تستطيع أن تصلح لانتشار **معلومة** بسرعة تفوق سرعة الضوء. بطريقة أعم، إن جملة صنف تفسيرات («اتفاقي») للحركة في الميكانيك الكوانتي تستدعي الملاحظة نفسها. ففي كل حالة، يجعلُ وجودُ عنصر صدفوي في الظاهرة الملاحَظَة استعمالها من أجل نقل إعلام بطريقة ربما تنتهك مبدأ السببية المنتشرة أمراً ممتنعاً.

* * *

لا شك أن هانس ريخينباخ هو فيلسوف العلوم الذي درس أفضل دراسة نظرية النسبية بما هي مؤسِّسَة لنظرية سببية للزمان، فهو يلاحظ في كتابه Space and Time أن «الفيزيائيين النسبويين قد صاغوا بالفعل نظرية صحيحة عن الزمان، لكنهم تركوا معارضيهم في العتمة فيما يخص الأسس الإيپيستيمولوجية لفرضياتهم». وقد أوضح، في كتاب آخر: «إن مبدأ أنشتاين عن الطابع الخاص بالسرعة الحدية لسرعة الضوء مؤسس في الوقت نفسه» على بداهة سلبية وعلى بداهة إيجابية. فهو بداهة سلبية من وجهه. نظر المبدأ القائل بأن أية إشارة أسرع من سرعة الضوء لم تلاحظ أبداً. لكن مبدأ أنشتاين ما كان سوف يقبل أبداً لو أنه لم يكن مؤسساً أيضاً على بداهة إيجابية. كانت نظرية النسبية سوف تقود إلى نتائج غير معقولة لو أن هذا المبدأ لم يكن صحيحاً؛ فالترتيب الزماني لحوادث مترابطة سببياً ربما كان يمكن أن يكون معكوساً، وكميات لانهائية من الطاقة ربما كان يمكن أن تكون منتجة، وهكذا دواليك. إن نتائج من هذا النوع تبدو مستبعدة الحدوث

إلى حد أنها تزودنا بدليل بالمقلوب : ويبدو أمراً غير محتمل كلياً أن يكون مبدأ الطابع الخاص بالسرعة الحدية لسرعة الضوء خاطئاً .

على هذا الحال ألا تكرس نظريةُ النسبية الزمانَ باعتباره پارامیترا سببيا . من هذا القبيل ، أنها تشكل الإمتداد المباشر لعمل نيوتن ، الذي كان قد جعل من الزمان الپارامیتر السببي المباشر في معادلات الميكانيكا ؛ التفاضلية . بيد أن نظرية النسبية تفتح أيضاً مسألة اختيار منظومات محاور الإحداثيات . ولم تكن النتائج التي تم الحصول عليها حتى عام ١٩٠٥ ، في الواقع ، صالحة إلا بشرط أن تختار كجملة مرجعية جملةً عطالية ، أي محاور إحداثيات مصوبة نحو نجوم ثابتة . لكن هل يمكن أن نطور نظرية فيزيائية متخلصة من هذا الإكراه؟ وفي هذه النظرية الجديدة ، ما هو شأن مبدأ السببية المنتشرة؟ هل إن نظرية النسبية العامة ، التي تستجيب كما نعلم للحالة الجديدة هذه ، هي أيضاً نظرية سببية للزمان؟

* * *

الفصل التاسع

الزمان ورقص المجرات

إن قوانين النسبية التي طورها أنشتاين عام ١٩٠٥، شأنها شأن قوانين الميكانيك النيوتونية، لا يمكن أن تطبق ما لم نعنى باختيار مناسب لجملة الإحداثيات المرجعية. بالنسبة لمعظم التطبيقات، تمثل جملة احداثيات يقع مبدؤها في مركز الشمس وتكون محاورها مصوبة نحو النجوم الثوابت، جملةً مثالية بتقريب جيد جداً. بالمقابل، لا تتيح جملة إحداثيات مرتبطة بالأرض ارتباطاً متيناً ومنقولة معها في حركتها الدورانية، تطبيق قوانين الميكانيكا الكلاسيكية أو النسبوية إلا بشيء من التقريب، فالإنحرفات (الفوارق) هي الآن محسوسة بالنسبة لكثير من الظواهر المألوفة، على غرار مسار قذيفة أو انتقال الهواء في الأرصاد الجوية. وقد كان أنشتاين يعي تماماً هذا الضعف. فما أن كانت قوانين النسبية لعام ١٩٠٥ قد أثبتت حتى كان قد سبق له أن أخذ يتمسك بتعميمها، بحيث يطبقها على جمل إحداثيات كائنة ما كانت. من أجل ذلك، كان لا بد له في بداءة الأمر من أن يفهم في أي شيء كانت هذه الجمل تختلف عن الجمل التي تبيحها النسبية الخاصة. والنظرية التي طورها حينذاك ما بين عامي ١٩٠٧ و١٩١٧، التي تدعى نظرية النسبية العامة، متنت أيضاً فكرة أن سير ميقاتية لم يكن يستطيع أن يكون مستقلاً عن شروط بيئتها الفيزيائية. وباقترانها بملاحظات فلكية، أتاحت إضافة إلى ذلك محاولة لإعادة بناء تاريخ الكون، مع أفق زماني موسع ومحسوب منذئذ بمليارات السنين.

كرة النجوم الثوابت، جملة معلمية متميزة

بعد نشر مقال النسبية الخاصة الأساسي، عاد أنشتاين إلى أعماله حول توسيع نظريته. وقد استوحى في هذا المشروع من ماخ، الذي كان يتساءل أيضاً

حول مزية الجمل العطالية. فخصوصية هذه الجمل تكمن في واقع كونها مصوبة نحو النجوم الثوابت، حتى لو كانت جد بعيدة. لكن، لماذا تكون قوانين نيوتن صالحة بشكل استثنائي في الجمل المرجعية ذات المحاور المترابطة مع كتل **الكون** الكبرى؟ كان الشرح الذي أوحى به ماخ هو أن هذه الكتل ربما تكون بالضبط هي سبب العطالة. بعبارات أخرى، إن نزوع جسم إلى أن يبقى على حالة حركية ثابتة في جملة عطالية ربما يكون نتيجة التأثير الذي تمارس كتل **الكون** الكبرى على هذا الجسم.

تساوي الكتلة الوازنة والكتلة العاطلة

توجد قوى وهمية[1]، في جملة إحداثيات متحركة حركة غير منظمة بالنسبة لجملة عطالية، وبخاصة، إذا كان جسم ساكناً في جملة عطالية، فسوف يبدو خاضعاً لقوةٍ تسارعُها وهمي وثابتة بالنسبة لجملة متحركة حركة مستقيمة متسارعة بانتظام. وقد فهم أنشتاين، في عام ١٩٠٥، أن القوة الثقالية التي تمد كل الأجسام الأرضية بحركة متسارعة بانتظام، يمكن أن تكون معتبرة على أنها قوة وهمية، في النطاق الذي تنعدم فيه بفعل اختيار ملائم لجملة الإحداثيات. وقد اقترح أنشتاين إجراء مقارنة مع مصعد يسقط سقوطاً حراً، فيه ربما لا يعود الأشخاص يحسون بالثقالة. وهذه حالة يعيشها بشكل روتيني ملاحو الفضاء، في هذه الأيام، داخل محطاتهم الفضائية وهي تقطع مدارها حول الأرض. فلا يوجد مفعول ثقالي في جملة «تسقط سقوطاً حراً»[2].

كان مدى مثل هذه الملاحظة كبيراً. فالثقالة، هذه القوة العجيبة التي عن

---

(١) مثلاً، نتحقق من وجود مثل هذه القوى عند إقلاع سيارة، أو في المنعطفات، باتخاذنا ضمنياً، كجملة معلمية، جملةً مرتبطة بمكان السيارة الداخلي، ونقول بأن «القوة النابذة» تضغط المسافرين على مقاعدهم.

(٢) إن أنشتاين نفسه روى فيما بعد كيف أن هذه الفكرة - «الأكثر نجاحاً في حياتي» - خطرت له فجأة، في أحد أيام تشرين ثاني من عام ١٩٠٧ على ما يحتمل. «كنت جالساً على كرسي في مكتبي في مصلحة الشهادات في بون عندما عبرت ذهني خاطرة فجائية؛ إذا سقط شخص سقوطاً حراً، فإنه لا يحس بوزنه الخاص: فذهلت، فهذه الفكرة البسيطة كونت عندي انطباعاً عميقاً. وكانت تدفعني نحو نظرية نسبوية للثقالة».

منشئها «لم يرد نيوتن قط أن يخاطر بافتراض فرضيات» ألـم يكن مستطاعاً ردها إلى مجرد مفعول هندسي، يتعلق باختيار الجمل الإحداثية؟ بالنسبة لأنشتاين، «للحقل الثقـالي وجـود نسـبي وحسب، قـابل للمقـارنة بالحـقل الكهـربائي الـذي ينتجـه التحريض المغناطسي». وقد قام هنا بارجاع إلى الظاهرة التي كانت قد قادته إلى النسبية الخاصة.

إن هذا التـوازي الذي يوحي بالطابع النسـبي للقوى الثقـالية غـيـر ممكن إلا بواسطة التسـاوي - المشاهد تجريبياً بيد أنه غير مشروح إلى ذلك الحين - بين الكتل العطالية والكتل الوازنة. ونستطيع، في جملة إحداثيات مربوطة **بالأرض**، أن نقيس التوتر (الضغط) الذي يجذب جسماً ما نحو مركز **الأرض**. ويدعى هذا التوتر وزن الجسم.

نستطيع، في جملة إحداثيات خاضعة لتسارع شاقولي (صاروخ مثلاً، أن نقيس التـوتر الناتج الممارس على الأجسام: مثـلاً، سـوف نلاحظ الضـغط (قـوة عطالية) الذي تمارسه هذه الأجسام على أرضية الصاروخ. فبالنسبة لجسم، يظل الوزن وقوة العطالة متناسبين تناسباً صارماً، بحيث يمتنع علينا أن نقرر، بواسطة تجارب فيزيائية داخل حجرة الصاروخ المغلقة والتي لا نافذة فيها، ما إذا كانت هذه الحجرة تخضع لتسارع في مكان خال، أو ما إذا كانت في حالة سكون في جوار جسم ذي كتلة يجذبه بفعل الثقالة. ويوفر لنا برهاناً عادياً لتساوي الكتلتين الوازنة والعطالة تجربة «المطمار». فمهما كانت المواد التي تتكون منها مادة هذا الجهاز، فإنه يدل في مكان بعينه على الشاقول نفسه. وعليه، فإن توتر الخيط هو محصلة قوتين: قـوة تجـاذبيـه، تتناسب مع الكتلة الوازنة للجـسم، وقـوة نابذة، عـائدة لدوران **الأرض**، يصنع اتجاهها بالنسبة للإتجاه السابق زاوية تساوي زاوية عرض الموضع وتتناسب شـدتها مع الكتلة العطالية للجسم. وإذا كـانت نسـبة الكتلة الوازنة إلى الكتلة العطالية تتعلق بالمواد المستعملة، فإن خيوط «مطمارية» مختلفة ربما تدل على شواقيل مختلفة!

على هذا الحال، يتخذ التساوي بين الكتلة الوازنة والكتلة العطالية، البعيد جداً عن أن يكون ظرفاً طارئاً، بالنسبة لأنشتاين قيمة مبدأ: مبدأ نسبية التثاقل. وهذا ما أتاح له تفسير التثاقل على أنه مفعول هندسي. طبعاً، يجب من أجل ذلك أن تكون هذه الهندسة معممة، وأن تتضمن في تعريف المسافات بين الأجسام عنصراً يعكس وجود منابع حقول ثقالية.

إن الإعداد الواقعي لهذه النظرية، التي عيِّنت فيها الهندسة بواسطة منابع الحقل الثقالي، يظهر شاقاً. وقد طوع مارسيل غروسمان، صديق أنشتاين القديم، تقنيات حساب الهندسات اللا - إقليدية. وقد تعاونا هما الإثنان من أجل تطبيقها على النظرية النسبوية الجديدة للثقالة التي حاول أنشتاين أن يبنيها[1]. وخلال أربع سنوات (١٩١١ - ١٩١٥)، نشر أنشتاين مقالاته الأولى حول نظرية النسبية العامة: فمبدأ التكافؤ أعيدت مناقشته بتفصيل في عام ١٩١١، وأدخلت مفاهيم الهندسة الريمانية في مقال كتبه بالتعاون مع غروسمان في ١٩١٣، والمعادلات العامة للثقالة عرضت في أكاديمية پروسيا للعلوم في عام ١٩١٥. وقد أتاحت هذه المعادلات كتابة قوانين الفيزياء، في جملة معلمية متسارعة بانتظام كما في جملة معلمية ما: وهي متوافقة مع مبادىء أنشتاين، التي وفقها «يجب أن يكون اختيار جملة معلمية عديم الأهمية بالنسبة للتعبير عن قوانين الفيزياء».

نتائج عملية بصدد سلوك الميقاييتات

في نظرية النسبية العامة، يبقي الزمان بكل دقة على الحالة نفسها التي له في النسبية الخاصة: فهو پاراميتر سببي متعلق بانتشار الضوء، ومن جهة أخرى، نستطيع دائماً، في الجوار المباشر لنقطة - حادثة، أن نعطي أنفسنا جملة إحداثيات بحيث يكون النظام المتري الذي يجب تطبيقه - التعليمات بالنسبة لقياس المسافات،

---

(١) تمثل أنشتاين بسرعة وبشكل تام التقنيات المعنية، لكن بدون أن يعاني مع ذلك، على ما يبدو، حباً متطرفاً للرياضيات في ذاتها، وقد كان بلا شك وهو يفكر بهذه المرحلة من حياته، أن رد مازحاً على صبية كانت تخبره عن الصعوبات التي كانت تلاقيها في الرياضيات: «صدقيني بأن صعوباتي أنا ليست أقل جسامة!».

مع أخذ منابع الثقالة الحاضرة بالحسبان ـ هو مترية النسبية الخاصة: بخاصة ينتشر الضوء فيها بخط مستقيم بسرعة C.

إن الضوء، على مسافات كبيرة وبحضور أشياء ذات كتلة، يتبع، مع ذلك، مساراً لا يكون قابلاً لأن يتراكب على مستقيم في مكان اقليدي. على هذا الحال يطرأ على الأشعة الصادرة عن جسم واقع خلف **الشمس** والملامسة لحافة قرصها انحراف تم التحقق من مقداره، الذي تُوقِّع في عام ١٩١٣، في عام ١٩١٩ بواسطة كسوف **للشمس** تام. وكشأن الفواصل المكانية، تفقد الفواصل الزمانية خاصة التطابقية (قابلية التراكب في انتقال) المميزة للهندسة الإقليدية. ففي جوار اجسام ذات كتل، أو في غضون التسارعات، تتباطأ الميقاتيات.

في عام ١٩١٥، وجد أنشتاين نفسه والحالة هذه حائزاً على المبادىء العامة والمعادلات الأساسية لنظرية الثقالة النسبوية. وكشأن النسبية الخاصة، رفضت هذه النظرية وجود جملة معلمية مطلقة مكانية وزمانية (مكان اقليدس المطلق وزمان نيوتن المطلق). وهي تؤكد، إضافة إلى ذلك، أننا نستطيع أن نختار لصالحها المترية بحيث تتخذ قوانين الفيزياء تعبيراً بسيطاً قدر المستطاع، بشرط أن يكون هذا الإختيار مؤكداً بالتجربة. في النسبية العامة، يكون مسار الأجسام المحررة من كل قوة غير الثقالة العامة ممثلاً بـ «خط جيوديزي»، أي بالامتداد الطبيعي للمستقيمات في الهندسة الإقليدية. وأصالة النظرية هي في أنها تحذف، من بين قوى الطبيعة، التجاذب الثقالي، الذي يغدو بهذا الشكل مفعولاً هندسياً صرفاً. والنظرية الجديدة تتوقع أيضاً بعض المفاعيل المرموقة، كانحناء الأشعة الضوئية في جوار الشمس وسبق نقطة أوج الكوكب عطارد (وهو مفعول سبق أن علم في ذلك العهد، بيد أنه لم يكن مشروحاً في إطار نظرية نيوتن).

أنشتاين ـ ماخ: تناغمات ونشازات

في غضون هذه الحقبة، أتيحت لأنشتاين عدة مناسبات للكتابة إلى ماخ، وبخاصة في حزيران من عام ١٩١٣،، معترفاً له بحقه في الإرشاد الذي كان قد

وفره له في بحثه، بيد أن ماخ لم يقدم لنظرية النسبية غير دعم متحفظ. وفي الواقع لم يكن كأنشتاين نصيراً مقتنعاً لتفسير نسبوي للزمان وللمكان (وفقه هذان الجوهران لا يملكان في ذاتهما لا وقعاً ولا معنى، لكنهما يعبران وحسب عن علاقات بين الأشياء)، بل كان أيضاً وضعياً متحمساً، يمتنع عن الكلام عن واقع الأشياء والحوادث بعيداً عن الإدراك. ومن المؤكد أنه كان يعاني بعض الحذر تجاه قناعات أنشتاين الواقعية. فبالنسبة لماخ، لم تكن القوانين العلمية غير وسيلة مقننة لوصف عدد كبير من الملاحظات معاً، أما «واقعها» فلم يكن له أي قياس أو دلالة، إن لم يكن بالضبط درجة التقنين هذه. ونظرية النسبية، سواء كانت خاصة أو عامة، فإنها بخلاف ذلك تمنح النموذج السببي، الذي يُعبر عنه انتشار الضوء بسرعة محدودة وثابتة، «واقعاً» لم يكن ماخ يريد أن يكون ضامناً له. فيما بعد، أخذ أنشتاين، رغم الرثاء التأبيني الحار الذي كرسه لماخ في عام ١٩١٦، يبتعد عنه وعن مبدئه.

أنشتاين يفتتح عصر الكوسمولوجيا الحديثة

كان المنظور الجديد الذي أدخلته النسبية العامة ترتيب العالم الهندسي يجيز رؤية مختلفة للكوسمولوجيا ولتاريخ **الكون**. وقد أدرك أنشتاين ذلك وكتب، في عام ١٩١٧، موضوعاً جديداً بعنوان: «اعتبارات كوسمولوجية في نظرية النسبية العامة».

تفحص أنشتاين، في هذا الموضوع، حلول معادلة النسبية العامة (المعادلة التي تقرن المترية الهندسية من جهة بتوزع الكتل والطاقة في العالم من الجهة الأخرى) ضمن النطاق المثالي لعالم **متجانس وموحد الخواص**؛ فيه، إذا صح القول، تستطيع الطوارىء الصغيرة التي تمثلها التراكمات المادية، كالكواكب والنجوم، الخ، إن تكون «مدبَّرة»، بحيث يكون المعطى الوحيد المهم هو الكثافة الوسطية للمادة في **الكون**. ولنقل إن الأمر هو أمر وجهة نظر ملاحظ خارجي يقع على بعد كبير عن **الكون** ولا يهتم بالتفاصيل العديمة الأهمية مثل وجود الأرض أو الشمس. إن هذا التعيميم مشروع إذا ما اعتبرنا بأن الإنحراف الثقالي الذي يتعرض له شعاع ضوئي يلامس حافة الشمس لا يبلغ ثانيتين قوسيتين!

درس أنشتاين الحلو الممكنة لمعادلته، آخذاً بالإعتبار تقديرات بصدد الكثافة الوسطية **للكون**. وقد اكتشف أن لا حل من الحلو يقود إلى **كون مستقر**. فكيف عسى أن يكون الأمر على غير ذلك، في عالم، فيه تميل الإكراهات الهندسية وحدها (القوى الثقالية) إلى أن تخثر السائل المادي وإلى أن تجعل أية غيمة مادية تنهد على نفسها؟ توجد طريقتان للإفلات من استنتاج مثل هذا الإنهداد العام: أن نوازن الميل إلى التقلص الثقالي بمفعول ضغط يميل إلى بعثرة السائل الكوني، كما لو أنه قد كان خاضعاً لانفجار بديء، أو أن نسلم بمفعول تدافعي ضعيف بين الأجسام، ضيئل جداً على السلم الموضعي لكنه كافٍ على السلم العام، كي يعيق الجاذبية العامة.

لم يتردد أنشتاين: فقد أختار البديل الثاني، واقترح أن يُدخَل في معادلة النسبية العامة حد دفعي جديد من طبيعة هندسية، سماه «ثابت كوسمولوجي». فالثابت الكوسمولوجي يتيح انقاذ استقرار الكون، وتجاهل مسألة بدايته.

أما البديل الأول، فيما يخصه، فهو لم يفلت من الكسندر فريدمان، الذي نشر في عام ١٩٢٢ موضوعاً بعنوان «حول انحناء المكان» شدد فيه على إمكانية حل آخر للمسألة الكوسمولوجية، دون اللجوء إلى حدٍّ دفعي. وفي هذا الحل، لا يتمكن الكون من أن يكون مستقراً؛ إن عليه أن يُلفَى في حالة توسع أو في حالة تقلص. وفي حالة وجود توسع، ربما يكون علينا حينذاك أن نلاحظ تضاؤلاً في تواتر الإشعاعات التي تصددها أجرام سماوية بـ«مفعول دوپلر» (شبيها، بالنسبة للأمواج الضوئية، بالمفعول الصوتي فيما يتعلق بتضاؤل نبرة أبواق السيارات التي تبتعد عنا بسرعة).

اكتشافات فلكية و نمذجة التاريخ العام

في حين كان أنشتاين ولفيف من المنظرين يكرسون وقتهم للنماذج الكوسولوجية التي أوحتها النسبية العامة، حققت الملاحظة الفلكية تقدمات جديدة بفضل الأميركي إيدوين پاول هوبل ومرصده ذي القطر الكبير (٥٠ , ٢م) المقام في

جبل ويلسون . وقد حقق هوبل الإختصاصي بالسدم، بلا انقطاع ، ثلاثة اكتشافات كبرى .

بادىء ذي بدء، توصل للمرة الأولى إلى أن يحلل بعض السدم الكبيرة إلى نجوم فردية ، مبرهناً بهذه الوسيلة أن القضية هي قضية مجرات متشابهة لكنها تقع خارج مجرتنا ، ولاحظ ، في ٥ تشرين أول ١٩٢٣ ، وصور نجماً فردياً ذا لمعان متغير في سديم آندوميد الكبير . وتألق هذا النمط من النجوم المطلق قابل للحساب، ويتيح قياس مقدار النور فيها magnitude عندما تُرى من الأرض ، بناء على ذلك ، تقديراً مباشراً لبعدها ، وقد تم ، بعد ذلك بوقت قصير ، التحقق من هوية ١٢ نجماً من هذا النمط في المجرة نفسها ، واستطاع هوبل أن يعلن أن هذه المجرة تقع على بعد ما يقرب من / ٩٠٠,٠٠٠/ سنة ضوئية[1] عن مجرتنا، التي لا يبلغ قطرها إلا ما يقرب من / ١٠٠,٠٠٠/ سنة ضوئية .

ملاحظة هوبل الثانية تتعلق بعدد وتوزيع المجرات . فقد تأكد وهو يعد المجرات التي كان يستطيع التحقق من هويتها في قطعة معينة من الكرة السماوية بواسطة مرصد جبل ويلسون الكبير ، أن توزعها موحد الخواص إجمالياً : وفي جميع الإتجاهات توجد مجرات واكداس مجرات . وما هو أفضل من ذلك ، أن هوبل تحقق ، بفضل التقديرات المسافية التي وسعها لتشمل ما يقرب من / ٢٥٠/ مليون سنة ضوئية ، من وجود انتظام تقريبي في شَغْل المكان ، واستنتج منه أول تقدير لكثافة **الكون** الوسطية $(10)^{-30}$ غ/ سم^{3} وهذا هو پاراميتر (ثابتة) حاسم بالنسبة لكل النماذج الكوسمولوجية الموحدة الخواص والمتجانسة .

اكتشاف هوبل الثالث هو الأشهر ، فقد لاحظ وهو يدرس الطيف الضوئي لثلاثين مجرة قدر بعدها بطريقة دقيقة بما فيه الكفاية (حتى ٦ ملايين سنة ضوئية) ، حيداناً منهجياً في طيوف الإصدار نحو الأحمر ، كما لو كانت هذه الأجرام تخضع لمفعول دوپلر من جراء حركة ابتعاد . لاحظ أن سرعة الإبتعاد هذه ، حسبما تستطيع

---

(١) إن بعد مجرة أندروميد المسلم به في هذه الأيام هو ٢,٦ مليون سنة ضوئية .

أن تستنتجها من الحيدان الطيفي، تكون متناسبة بشكل ملموس مع بعد المجرات: هذا هو قانون هوبل، الذي دُرِس منذ عام ١٩٢٤ ونشر في عام ١٩٢٩. وهو ما يدعى في هذه الأيام ثابت هوبل ثابت التناسب بين المسافة والسرعة. ولعكسه أبعادَ مدة زمانية، تميز التاريخ الكوسمولوجي: فهو في الواقع الزمان الذي ربما قد تكون المجرة قد استغرقته من أجل أن تتبعثر حتى تشغل وضعها الحالي في الكون، بافتراض أن سرعتها قد كانت دائماً السرعة التي تعزى لها في هذه الأيام. قدر هوبل هذا الزمان بما يقرب من ملياري سنة.

لم تفت هذه النتائج منظراً للنسبية آخر، هو الأب جورج لوميتر، الذي نشر في عام ١٩٢٧ موضوعاً عنوانه «نموذج كوني متجانس، كتلته ثابتة ونصف قطره متزايد، بشكل يتفق والسرعة الموجهية وفق نصف القطر للسدم الخارج ـ مجراتية». وكنموذج تاريخي **للكون**، نادى بفكرة انفجار نواة أولية، «**ذرة بدئية**»، ربما يكون ممكناً أن تكون ذات بعد مماثل لبعد منظومتنا الشمسية. وقد قدر تاريخ هذا الإنفجار الأولي انطلاقاً من زمان هوبل المميز. وقد ظل اقتراح لوميتر مجهولاً إلى حد كبير من جانب النوادي العلمية، إلى أن اهتم به عالم الفلك أرتو إدِّنغنون من جديد في سني الثلاثينات.

وفي حوالي عام ١٩٣٢، سلَّم أنشتاين، الذي كان قد اقتنع بالمعطيات التي تراكم بصدد ابتعاد المجرات، بالطابع غير المجدي للثابت الكوسمولوجي الذي كان قد أدخله في نموذجه عام ١٩١٧ من أجل أن يقي استقرار **الكون**. على هذا الحال، انضم إلى نظرية الـ «Big Baug» وقبل فكرة «ولادة» من نقطة فريدة في تاريخ **الكون**[1]. وقد أعلن فيما بعد، بصدد الثابت الكوسمولوجي: «هذا أكبر غلطة في حياتي».

(١) من سخرية المقادير المعتادة في العلم، أن لوميتر عاند في الدفاع عن هذا الثابت المزيد بصورة أساسية لأنه كان يتيح، حسب اعتقاده، التغلب على صعوبة أساسية في نموذج انفجار الذرة البدئية، هذه الصعوبة هي في كون الزمان المميز الذي قال به هوبل، أي مليارا سنة، أقل صراحة من عمر الأرض، الذي قيس بفضل إشعاع الصخور الطبيعي: كان قد سبق أن أثبتت هذه القياسات، في ذلك العهد، أن عمر الأرض يزيد على ٣ مليار سنة (وأحدث قياس معاصر يعطي ٤,٥٥ مليار سنة). وما لم يكن لوميتر يرتاب فيه، هو أن التقديرات التي قام بها هوبل عن ابعاد المجرات كانت مبخوسة القيمة بشكل مغالى فيه إلى حد كافٍ، أما الزمان الكوسمولوجي المميز المقبول في هذه الأيام فهو جدّ أطول، حوالي ١٥ مليار سنة.

والغـريـب، أن المنظرين يذكـرون، منذ عـدة سنوات، من جـديد، بإمكانيـة ثابت كوسمولوجي غير معدوم: إنه الدور «التضخمي». إلا أن هذا التضخم، ربما لا يكون قـد فعل فعله إلا في لحظات الانفجار الكبير Big Baug الأولى، لكي يخلي المجال بعدئذ للتوسع المنتظم الذي يحكم أقدار الكون منذ ١٥ مليار سنة.

الابتراد الكوسمولوجي، ينبوع التاريخ

إن قانون هوبل، الخاص بالتناسب بين سرعة الابتعاد وبعد المجرات، يشكل مثالاً حسناً للإستقراء العلمي الناجح. ولم يعدِّل تصميمه بالمد خارجاً، من **مجال** الأبعاد (المسافات) التي استكشفها عالم الفلك الأميركي حتى المسافات الأكبر بعشرين مرة التي يسهل منالها بالمرصد الإشعاعي الحديث، القضية الأساسية قضية تبعية خطية بين المسافة وسرعة الأبعاد، ويميل هذا التناسب التام إلى إراحتنا في فكرة أن **الكون** قد انبجس من تفرد بدئي بشكل انفجار هائل.

ودلالة كهذه، مع ذلك، لا تستطيع لوحدها أن تقضي على القناعة. ومن باب التعقل، رفض هوبل دائماً أن يتحدث عن ابتعاد المجرات، واكتفى بتعبير «حيدان نحو الأحمر»، محاكياً في ذلك مناجاة نيوتن «hypo thé enonfiugo». لكن، في هذه الأيام، تأتي تأكيدات لنمط الإنفجار الكبير من آفاق غير متوقعة: فاليترمودنياميك النسبوي وفيزياء الجزئيات الأولية تعطي وزناً لفرضية انفجار بدئي انطلاقاً من نواة ذات بعد مختزل. زد على ذلك، أن الملاحظات في مجال فيزياء الجزئيات تدعنا نفكر أن الكارثة البدئية جرت وفق برنامج متسارع تسارعاً خارقاً، بدء من كون كثافته الطاقية شديدة جداً وبعده المكاني ضئيل جداً.

تتيح التيرمودنياميكا النسبوية فهم كيف استطاع توسع **الكون** أو يولد، ولا يزال يولد في هذه الأيام، اختلال توازن يترمودينامي عميق بين المادة والإشعاع. إن اختلال التوازن هذا يشكل المحرك الحقيقي لتنظيم العالم في بُنى متمايزة؛ ويكرهنا على تصور محرك أرسطو الأول، المكلَّف بالحفاظ على حركة الكرات. وتشرح ميكانيكيته بجملتين رئيسيتين. **في طورٍ أول**، يسبب توسع **الكون** بحصر

المعنى الإبترادَ الأدياباتيكي[1]»، للسائل الذي يكوِّنه. بيد أن **هذا الإبتراد لا يؤثر بالطريقة ذاتها على المادة والإشعاع**. وتثبت معادلات النسبية العامة بالفعل أن درجة حرارة المادة تتناقص حسب عكس مربع «نصف قطر» **الكون**، في حين أن درجة حرارة الإشعاع تتناقص حسب عكس نصف القطر هذا فقط. بهذا الشكل هل إن منبع انتفاء انطروبية دائماً (أي إمكانية تنظيم) قد خلق في **الكون** بواسطة سيرورات مزاوجة بين المادة والإشعاع. من بين سيرورات المزاوجة هذه يجب التنويه بمجلوب الثقالة الخاص. ففي كون من الجزئيات المادية الباردة، تؤول الإنهدادات الثقالية إلى ولادة نجوم ساخنة. ويشكّل خلق النجوم الساخنة هذا **الطور الثاني** لتنظيم العالم في بُنى متمايزة. ومن نجم قريب، **الشمس**، تستمد الحياة الأرضية والإنسانية عملياً، الآن كما في الأمس، كل مل يلزمها من انتقاء انطروبية.

الطور الأول يسبب نتيجة فيزيائية ذات أهمية من الطراز الأول يمكن التحقق منها، في بداية التوسع، تكون كثافة الطاقة في **الكون** (بشكلها الإشعاعي، ثم شكلها الإشعاعي والمادي) عظيمة جداً. كل جزيء يُصدرهُ جزيء مادي يعود فيمتصه للحظته تقريباً جزيء مادي آخر: وسيرورات الإصدار والإمتصاص توازن الإبتراد التفاضلي وتبقي على التوازن الحراري بين المادة والإشعاع. وفي غضون التوسع، تأتي مع ذلك مرحلة بدءاً منها تكون أبعاد الكون بحيث تجتاز الكثافة المادية والإشعاعية وحرارتهما عتبة دونها لا يكون للفوتونات الجديدة المصدرة أي حظ في أن تُمتص ثانية. فتتابع والحالة هذه ابترادها، يشكل مستقل عن المادة، حينذاك تضل القوتوتات في الكون، مشكلة غازاً متجانساً، بدون اتجاه متميز. إنها تشكل إشعاعاً ممكنة ملاحظته، حتى في اتجاهات لا تكشف المراصد فيها أي منبع خاص: حينذاك يتم الحديث عن «إشعاع قاع السماء». ونستطيع أن نقدر بواسطة الحساب عهد تشكل هذه الفوتونات بما يقرب من مليون سنة بعد اللحظة صفر، في حين كانت الأبعاد المميزة للكون أصغر مائة مرة مما هي عليه الآن، وكانت درجة الحرارة

(١) الابتراد الأدياباتيكي لسائل يتوسع ظاهرة مألوفة جداً. ونتحقق منه، مثلاً، بالتثبت من أن غاز زجاجة بوتان مضغوطة يبترد بانفلاته انفلاتاً حراً.

المميزة للفوتونات قريبة / ١٠٠٠/ درجة حرارة مطلقة. ونتيجة للإبتراد المستمر الذي يؤثر عليها منذئذ، لا تعود درجة حرارتها المميزة الحالية تبلغ غير ٣ درجات حرارة مطلقة تقريباً. إن إشعاع قاع السماء هذا، الذي توقعه الفيزيائي غاموف منذ عام ١٩٤٨، اكتشفه صدفة عالما الرصد الإشعاعي آرنو يونزيا وروبير ويلسون في عام ١٩٦٣. وقد تطابق شكل طيفه مع شكل الطيف النظري «الإشعاعي للجسم الأسود»، مع درجة حرارة مميزة تبلغ ٧, ٢ درجة حرارة مطلقة، تدل على أصله التيرموديناميكي إن كثافة هذا الإشعاع ثابتة في جميع الإتجاهات، مع تغييرات نسبية لا تتجاوز الواحد بالألف.

التضخم وجدار الزمان

تقدم فيزياء الجزئيات الأولية من جانبها دلالات عن تاريخ **الكون** في عهود أيضاً أقرب من اللحظة البدئية. فمعظم العناصر الخفيفة، كالهيدروجين والدوتيريوم والهيليوم الموجودة في **الكون**، لم تتمكن من أن تتشكل إلا في هذا العهد السحيق، لأن تشكلها يتطلب درجات حرارة مرتفعة جداً، من مرتبة (١٠)٢٧ درجة ملطقة. ووفرتها النسبية الراهنة حالياً تعكس والحالة هذه الشروط التي كانت راجحة في ذلك العهد. وهو تؤكد أن **الكون** كان لزاماً عليه أن يمر بدور في غضونه كانت درجة الحرارة أعلى من هذه القيمة.

لدينا والحالة هذه قرائن متوافقة ومستقلة ثلاث لصالح تاريخ كوسمولوجي من النمط «Big Baug» النسبوي: قانون هوبل، إشعاع قاع السماء ووفرة العناصر الخفيفة النسبية. والسيناريوهات الأخرى التي تم اقتراحها لا تعرض الملاحظات التي أجريت في الوقت نفسه في هذه المجالات الثلاثة، هاكم لماذا يسلّم جميع علماء الفلك الفيزيائي في هذه الأيام بنموذج تاريخ الكون هذا، حتى لو بقيت قائمة ارتيابات عديدة حول تفاصيل ولادته.

كان معظم علماء الفلك يقدرون، حتى عام ١٩٨٣، أن الكون نجم عن حادث نقطي متفرد، قدّه معدوم ودرجة حرارته لانهائية، ووفق السناريو الذي كان

مطروحاً حينذاك، بعد مولد الكون بمقدار جزء من الثانية، بلغت أبعاده ميكروناً، في حين أن درجة الحرارة كانت لا تزال تزيد على $(10)^{32}$ درجة حرارة مطلقة. وفي مثل درجة الحرارة هذه، لا يكون أي شكل مادي ولا حتى ضوئي مستقراً؛ ولا نستطيع أن نتصور هذا الكون الأولي إلا على أنه مكان خاوٍ فيه تنبجس وتتلاشى باستمرار بشكل أني تقريباً «كوانتات». ومنذئذ، سلكت بعض الصعوبات، المرتبطة بصورة خاصة بتجانس إشعاع قاع السماء الخارق، بحيث أن بعض الفيزيائيين تصوروا بداية الكون بطريقة تختلف اختلافاً زهيداً، أكثر تسارعاً أيضاً، ولو أن درجة الحرارة قد أمكن أن تظل محدودة وأن يكون صعباً منذئذ أن نبدي رأياً حول أبعاده، ويختفي تاريخ الكون خلف طور متفجر، كارثي، كما لو كان يختفي خلف بساط ثقيل، وفي غضون هذا الطور «التضخمي»، أمكن أن يتزايد قدُّ الكون بسرعة تفوق سرعة الضوء، الأمر الذي لا يتعارض مع مبادىء النسبية، إذ أن المادة لم تكن حينذاك ذات وجود مستقر. في السناريو الجديد المعدل للـ Big Bang، ربما تكون المادة قد ظهرت في كون كان قد سبق له أن غدا نسبياً واسعاً، في غضون إعادة تسخين جزئية[1].

مهما يكن من أمر، لا تيتح قوانين الفيزياء الرجوع إلى ما هو أبعد من هذا الطور البدئي. إنها تقدمه لنا على أنه جدار للتاريخ لا يمكن أن نتعداه، وعبره انقض الزمان. فيما يتجاوز شبه التفرد البدئي هذا، لا يوجد لا اتجاه متميز ولا بنية يمكن أن نتتبع آثارها، وأن نعيد تمثيل التاريخ. فالزمان يتشعشع ويضمحل. ونستطيع أن نستعيد إلى الذاكرة سؤال القديس أوغسطين: «ما الذي كان موجوداً قبل أن يوجد الزمان؟» لاشيء، إلا إذا كنا نقبل تعريف الزمن الوارد في المدخل. لاشيء، لأن الزمان لا يوجد دون شيء يستطيع أن يعض عليه بالتواجذ ويترك آثره

(١) من جراء التناظر شبه الكلي الذي يوجد مباشرة بين المادة ومضاد المادة، ربما يكون والحالة هذه ممكناً أن تكون بعض التجمعات المجرية الموجودة اليوم مكونة من مضاد المادة. فالضوء الذي تصدره مضادات مجرات احتمالية مطابق للضوء الذي تصدره مجرات عادية، إلا أن الإشعاع الكوني الآتي من هذه التجمعات ربما يستطيع أن يتيح التأكد من وجودها.

عليه. ودرجة الحرية هذه تتلاشى في الوقت نفسه الذي يضيع فيه مفهوم الشيء في الخواء الأولي.

خلق الكون، علم وفلسفة

تظهر مسألة ما كانت عليه حالة الكون قبل بداية الأزمان كم يصعب علينا أن نتخلص من الفكرة النيوتونية عن زمان في ذاته، زمان قد يكون شيئاً ما على غرار «sensorium Dei» عند كلارك، لأنه ربما كان موجوداً حتى قبل أن وجد العالم. فيما يخص النسبية العامة، يعيِّن البنية المكان ـ زمانية التنسور طاقة ـ دفع، والزمان كالمكان لا يوجدان إلا بمقدار ما يكون هذا التنسور موجوداً.

ويستحق تاريخ الكوسمولوجيا الحديثة لوحده كتباً (انظر بخاصة مؤلفات جاك ميرلو ـ بونتي). مع ذلك، نجد أنه خلافاً لكثير من الإكتشافات العلمية الأخرى، لم تشكل فكرة لحظة بدئية **للكون**، بحصر المعنى، ثورة علمية، قطيعة من هذه القطيعات الإيپيستيمولوجية المحببة عند باشلار. ففكرة ولادة **الكون** ليست أكثر غرابة في نظرنا من ولادتنا نحن. ففي الواقع تتدانى الحادثتان إحداهما من الأخرى في لاشعورنا، بسبب الإمتناع العملي للرجوع القهقرى في مجرى الزمان الخاص بهما إلى ما يتعدى لحظات بدئية. وذلك هو، بلا شك، السبب الذي من أجله كانت تسلِّم قبلاً معظم الأديان، قبل العلوم، بذلك، عبر أسطورة الخلق.

على هذا الحال تشتمل قصة **الخلق** التوراتية على قضايا حديثة حداثة مدهشة، بخاصة فكرة أن الكون كانت له بداية. وفي التورات تم التذكير أيضاً بأولوية النور: «ليكن النور!» وقد قال النص التوراتي ما هو أفضل أيضاً، لأن النور يبدو مبثوثاً جيداً في عدم سابق الوجود. بما يتفق مع أحدث الأفكار حول طبيعة ودور الخلاء في فيزياء الطاقات العالية جداً: «في البدء خلق **الله السماء والأرض**. وكانت **الأرض** خربة وخالية. وعلى وجه الغمر ظلمة..». طبعاً إن مسألة بداية الأكثر حداثة لم يُذَكَّرُ بها في النص أبداً. ومن أجل ذلك كان لا بد من انتظار نصوص

القديس أوغسطين الرائعة («الزمان، **أنت** من خلقه، ولم يكن يوجد زمان قط قبل أن وجدَ الزمان . . . »)، والغزالي وموسى بن ميمون، الذين عارضوا بالتدريج أرسطو وأدخلوا فكرة بداية مطلقة للأزمان، تتطابق مع خلق العالم. ففكرة الكوسمولوجيا العلمية الحديثة ليست والحالة هذه لا حديثة ولا مناقضة للحس المشترك. إنها بخلاف ذلك تحدد تشابهاً مطمئناً بين تاريخ العالم والتاريخ الفردي، وحتى تقارباً أو توافقاً مصيرياً.

لكن لماذا والحالة هذه وقف فلاسفة عصر الأنوار، الذين أدخلوا تاريخ المنظومة الشمسية في علم الفلك ضد فكرة بداية مطلقة؟ هل كانوا يريدون أن يتخلصوا من أساطير الدين باسم العقلانية؟ والواقع هو أن لا پلاس استبعد، في **عرضه لمنظومة العالم**، كل نقاش حول بدايات السدم، كما رفض كل لجوء إلى أسباب غائية ما هي سوى «متَخيَّلات لمجرد الحاجة إلى تهدئة قلقنا بصدد بداية الأشياء التي تهمنا». في موسوعة ديدرو، تخلى معاصره دالومبير صراحة عن الفكرة التي تقول بأن المادة ربما لا يمكن أن تكون قط خالدة، وسپينوزا لم يكن هو كذلك، يريد أن يسمع من يتحدث عن تاريخ **للكون**، وذلك قبل عهد كانط ولاپلاس بما يقرب من قرن. ومن الواضح بالفعل أن يجعل مثول **رب** سبينوزا الصميمي، المقترن بلا تناهي صفاته، صعبةً فكرة خلق للمادة، فكرة بداية مطلقة لها، على الأقل في شكل «طبيعة مُطَبِّعة»، أي في ماهيتها العميقة التي لا تنتمي لا إلى المكان ولا إلى الزمان. لأن ذلك ربما كان سوف يؤول إلى التسليم بأن **الله** يستطيع أن يوجد خارج الطبيعة، وهذا ما كان يعتقده سپينوزا، وحتى نعرف التأثير الفلسفي الذي مارسه سپينوزا على أنشتاين، نستطيع أن نعتقد أنه قد كان، مع ماخ، ملهماً مهماً للتأليف الأنشتايني، حتى وبما في ذلك حكاية الثابت الكوسمولوجي. وهما الإثنان دعما أنشتاين في لمعات عبقريته الأكثر إيماضاً، بل وأسهما أيضاً في بضعة الخطوات العاثرة التي ترك نفسه ينجربها.

* * *

لقد جلب فيزيائيو وفلكيو هذا القرن، بالتدريج عناصر ما يشابه في هذه الأيام برهاناً، واقعاً تجريبياً: «الكون في حالة توسع. لقد ولد، منذ ١٥ مليار سنة، بانفجار عظيم، هو الـ«Big Bang». وقدره، شعشعة لا نهاية لها في مكان لا نهاية له أو عودة إلى التقلص حتى تفرد نهائي، هو («Big Grunch» التقلص العظيم)، يطرح بالمقابل مشكلة، لأنه يتوقف بشكل قوي على قيمة الكثافة الوسطية للمادة في **الكون**، التي بصددها لا يزال يوجد ارتياب كبير. إن للزمان بداية، بيد أننا لا نعرف بعد ما إذا كان له نهاية.

* * *

الفصل العاشر

مفارقة التوأمين، تاريخ آلة الرجوع القهقرى في الزمان

دعم تطوير النسبية العامة القناعة التي وفقها يتوقف سير الميقاتيات على بيئتها الفيزيائية ، وقد سبق أن أحتوت مذكرة أنشتاين الأصلية حول النسبية الخاصة ، التي نشرت في عام ١٩٠٥ ، على مقطع ملحق أشار فيه إلى «نتيجة متفردة» لمعادلات تحويل لورانتز ، النتيجة التي تنظم الإنتقال من الإحداثيات المكانية والزمانية بين جملتين معلميتين تتحركان حركة منتظمة . والمقصود هو الإختلال الذي ينشأ بين الزمان الذي تدل عليه ميقايتات مرتبطة بكلتا الجملتين المعلميتين . وقد كان أنشتاين يشير إلى أن هذا الإختلال ، الناجم عن ظاهرة تمدد المدد الزمانية ، سوف لا ينعدم إذا ما توقفت الحركة أو انعكست ، حتى لو كانت الجملتان المعلميتان قد أفضى بهما الأمر إلى أن تتراكبا من جديد إثر هذه التغييرات الحركية : ففي النسبية كل اختلال زماني يحصل يبقى إلى الأبد . ومن الآن ، علينا أن نتعود على أن نضم إلى كل شيء (موضوع) زماناً خاصاً به يتوقف إيقاع جريانه على الشروط التسارعية والحقل الثقالي التي يخضع هذا الشيء لها . طبعاً ، يكون الاختلال ، في حالة سرعة الحركات الإعتيادية ، زهيداً بحيث لا يكون قابلاً لأن يقدر بواسطة الميقاتيات العادية . غير أنه أمكن مؤخراً أن يقاس بفضل دقة الميقاتيات الذرية .

إن توقع اختلال بين ميقاتيتين خضعنا لحركتين نسبيتين واحدتهما بالنسبة للأخرى تصدم حسنا السليم ، لأننا نعتقد أن إيقاع جريان زمان الأشياء لا يبالي بالمعالجات التي يمكن أن تقع عليها في المكان . هناك تفرد آخر للتجربة يبدو للوهلة

الأولى مفارقاً هو لا تناظر النتيجة المعلنة : فالميقاتية **المرتحلة تتأخر** بالنسبة للميقاتية الثابتة، والميقاتية الثابتة **تتقدم** بالنسبة للميقاتية المرتحلة، في حين أن أحد مبادىء الفيزياء الكبرى هو تناظر الحركة المستقيمة المنتظمة التام. ونستطيع أن نقول أن الميقاتية المتحركة تبتعد أو تقترب من الميقاتية الثابتة، خلال طوري الذهاب والإياب، لكننا نستطيع أيضاً أن نقول أن هذه الميقاتية الثابتة (ومعها المختبر برمته) تبتعد أو تقترب من الميقاتية المتحركة. فمبدأ النسبية يوضح أن لا تجربة فيزيائية تيتح حسم مسألة التفريق بين طريقتي التعبير، ما دمنا ننعم النظر إلى حركات مستقيمة ومنتظمة. .

وقد كان پول لونجوڤان، الأستاذ في الكوليج دي فراس وصديق أنشتاين المعجب به، بلا شك، أول من اقترح الصياغة الأكثر تنميقاً وفي الوقت نفسه الشرح الأكثر إقناعاً، لهذه الظاهرة.

لونجوڤان يشرح المفارقة

خطرت للونجوڤان، في محاضرة ألقاها في بولونيا عام ١٩١١، فكرة توضيح أوجه الزمان المفارقة في الميكانيكا النسبوية بروايته حكاية توءمين، انطلق إحدهما في رحلة بين الأفلاك تتم بسرعة كبيرة جداً، في حين بقي الآخر على **الأرض**. بعد مضي سنتين، عاد التوؤم المرتحل، بعد إتمام رحلته، إلى **الأرض**، بيد أنه وجدها قد زاد عمرها مئتي سنة. إن نص هذه المحاضرة نشر فيما بعد. وهو يقدم شرحاً شديد الوضوح وملائماً لاختلاف إيقاع التقدم في العمر. لا شك في أننا سوف نجد لذة في إعادة قراءته.

«لنفترض أن قطعتين ماديتين تلتقيان أول مرة، ثم تنفصلان، وبعدئذ تعودان فتلتقيان. إننا نستطيع أن نؤكد أن ملاحظين مرتبطين بالقعطة الأولى وبالثانية أثناء الإنفصال سوف لن يكونا قد قدرا بالطريقة نفسها مدة هذا الإنفصال، وسوف لن يكونا قد تقدم العمر بأحدهما كالآخر، ينتج مما تقدم أن الملاحظ الذي سوف يكون قد تقدم به العمر أقل هو الذي سوف تكو حركته أثناء

الإنفصال أبعد عن أن تكون منتظمة، الذي سوف يكون قد خضع بدرجة أكبر للتسارعات.

هذه الملاحظة تقدم الوسيلة، لمن من بيننا يود أن يكرس لها سنتين من حياته، لمعرفة ما سوف تكون عليه الأرض بعد مئتي سنة، لاستكشاف مستقبل الأرض بإحداثه في حياتها قفزة إلى الأمام سوف تدوم بالنسبة لها قرنين وبالنسبة له سوف تدوم سنتين، إلا أن هذا الأمر سوف يكون بلا أمل في الرجوع، دون قدرة على المجيء من أجل إعلامنا عن نتيجة رحلته لأن كل محاولة من مثل هذا النوع قد لا تستطيع إلا أن تنقله إلى الأمام أكثر فأكثر.

وربما كان سوف يكفي من أجل ذلك أن يوافق مرتحلنا على الانحباس في قذيفة قد تطلقها **الأرض** بسرعة قريبة قرباً كافياً من سرعة الضوء، مع بقائها أقل منها، وهذا أمر ممكن فيزيائياً، بترتيب الأمر بحيث يحدث لقاء، مع نجم مثلاً، بعد سنة من حياة المرتحل، ويرجعه نحو **الأرض** بالسرعة نفسها. لدى عودته إلى **الأرض** وقد تقدم به العمر سنتين، سوف يخرج من سفينته ويرى كرتنا الأرضية الأرضية قد تقدم بها العمر مئتي سنة إذا كانت سرعته في غضون ذلك أقل من سرعة الضوء بـ ٢٠ من الألف وحسب. والوقائع التجريبية المثبتة أصدق إثبات تتيح لنا أن نؤكد أن الأمر سوف يكون كذلك.

من الممتع أن نعرض كيف أن مستكشفنا والأرض كانا سوف يريان بعضهما يعيشان بالتبادل، إذا كانا يستطيعان أن يظلا على اتصال دائم، بواسطة إشارات ضوئية أو برقيات لاسلكية، أثناء انفصالهما، وأن يفهما بهذا الشكل كيف يكون ممكناً اللاتناظر بين قياسي مدة الإنفصال.

حينما يتعدان أحدهما عن الآخر بسرعة قريبة من سرعة الضوء، سوف يبدو كل منهما للآخر يفر أمام الإشارات الكهراطيسية أو الضوئية المرسلة إليه، بحيث يستغرق زماناً طويلاً جداً كي يتلقى الإشارات المرسلة في أثناء مدة زمانية معينة. ويظهر الحساب بهذا الشكل أن كل واحد منهما سوف يرى الآخر يعيش حياة أبطأ

من المعتاد بمئتي مرة. وخلال العام الذي سوف تستغرقه بالنسبة له حركة الإبتعاد هذه، لن يتلقى المستكشف من الأرض غير أخبار اليومين الأولين بعد انطلاقه؛ وفي غضون هذا العام سوف يكون قد رأى **الأرض** تتم حركات اليومين(. . .)

وفي أثناء الرجوع سوف تكون الشروط قد انعكست: وكل واحد منهما سوف يرى الآخر يعيش حياة متسارعة بشكل غريب، أسرع من المعتاد بمئتي مرة، في أثناء السنة التي سوف يستغرقها الرجوع بالنسبة للمستكشف، سوف يرى الأرض تتم حركات قرنين: بهذا الشكل ندرك بأنه يجدها لدى رجوعه قد زاد عمرها مئتي سنة (. . .).

من أجل فهم اللاتناظر، يجب أن نلاحظ أن **الأرض** سوف تستغرق قرنين كي تتلقي الإشارات التي أرسلها المستكشف في أثناء حركته الإبتعادية التي تستغرق بالنسبة له سنة واحدة: وسوف تراه يعيش في أثناء المدة الزمانية في سفينته حياة أبطأ بمئتي مرة؛ وسوف تراه (أي الأرض) يتم حركات سنة واحدة. وفي أثناء السنتين التي سوف تراه **الأرض** في غضونهما يبتعد بهذا الشكل، سوف يكون عليها، من أجل أن تتلقى الإشارات الهرتزية التي أرسلها، أن تستخدم أنتينا أطول من أنتينه هو بمئتي مرة. وفي نهاية هذين القرنين سوف يصل إلى **الأرض** خبر التقاء القذيفة مع النجم الذي يحدد بدء رحلة العودة. ووصول المرتحل سوف يحصل بعد ذلك بيومين خلالهما سوف تراه الأرض **يعيش** بسرعة أكبر من المعتاد بمئتي مرة، وتراه يتم حركات سنة أخرى كي تراه عند العودة قد تقدم به العمر سنتين فقط. وفي أثناء هذين اليومين الأخيرين، على الأرض أن تستخدم من أجل تلقي أخبار عنه، أن تستخدم انتين استقبال أقصر بمئتي مرة من أنتين المرتحل.

بهذا الشكل، يفسر اللاتناظر المتعلق يكون المرتحل وحده خضع، في منتصف رحلته، لتسارع غير اتجاه سرعته ورجع به إلى نقطة الإنطلاق على **الأرض**، من جراء الواقع واقع كون المرتحل يرى **الأرض** تبتعد وتقترب منه في أثناء مدتين زمانيتين تساوي كل منهما سنة، في حين أن **الأرض** التي أعلمت بهذا التسارع فقط

بواسطة وصول أمواج ضوئية، ترى المرتحل يبتعد عنها خلال قرنين ويعود إليها خلال يومين، في أثناء مدة زمانية أقصر بأربعين ألف مرة».

بهذا النص المنذر، دل لونجوڤان بوضوح على السبب الحقيقي لانعدام التناظر في التقدم في العمر: التسارعات التي يخضع لها المرتحل، التسارعات التي ليست نسبية. فالنسبية العامة، التي كانت تتمخض في عهد محاضرة لونجوڤان، لم يكن بإمكانها إلا أن تكون ميسرة لوجهة النظر هذه. ويتيح تحليل مفصل لهذا النمط التجريبي في إطار النسبية العامة تأكيد قيمة الإختلال المتوقع، بين هاتين الميقاتيتين، هذا الإختلال هو فعلاً الإختلال الذي تقود إليه المقاربة السابقة.

مفعول منظوري؟

التخلي التام عن الزمان في ذاته، والمستقل عن الأشياء (المواضيع) وعن الإكراهات التي تتعرض لها، هو الطريق الموثوق أكثر إلى التفسير الصحيح لمغامرة توأمي لونجوڤان. ومع ذلك يظل التخلص من عادة تصور الزمان على أنه لا متغير عام أمراً صعباً. السبب الذي من أجله حاولت أذهان كثيرة، توافق على نظرية النسبية الأنشتاينية ومعادلات تحويل الإحداثيات المكانية والزمانية المقترنة بها، أن تقدم تفسيراً مختلفاً يقود إلى إنكار وجود اختلال بين الميقاتيتين، أو تقدم في العمر مختلفٍ بالنسبة للتوءمين، منذ أن تكون الميقاتيتان أو التوءمان قد أعيدا إلى **السكون** بالقرب من نظيريهما اللذين بقيا على الأرض.

على هذا الحال كان موقف برغسون بخاصة، الذي كانت بالنسبة له المدة الزمانية المعاشة **معطى من معطيات الوعي مباشراً**، علامة الوعي الذكي وأساس الإدراك المنظم، لم يكن ينكر تلاؤم النظرية النسبية، لكنه كان يسعى ليقدم عنها قراءة فلسفية مطابقة لقناعاته الشخصيانية. وكان يُميز، في تجربة توءمي لونجوڤان، الزمان الحق، زمان الملاحظ غير المتحرك، والزمان «الظاهر»، الذي كان يعزوه إلى الظواهر التي تجري في القذيفة الصاروخية التي يراها تبتعد أو تقترب منه، بمفعول منظوري عائد لحركة القذيفة.

يدل تحويل لورانتز في الواقع على إيقاع جريان الزمن (مدة دقة ميقاتية) في جملة مرجعية متحركة حركة مستقيمة ومنتظمة مثلما هو مقاس في ميقاتية منظومة (جملة) ساكنة ويحق لنا والحالة هذه أن نقول بأن الميقاتية المتحركة، في حالة **مشاهدتها** من المنظومة الساكنة، تتأخر بالنسبة للميقاتية الثابتة. لكن، هل علينا أن نقول أنها تتأخر، أو **تبدو** متأخرة؟ فما دمنا لا نقترح مقارنة دلالات ميقاتيات موجودة جنباً لجنب وفي حالة سكون، نستطيع أن نؤكد أن إيقاع جريان «الزمان» (العام) لا يبالي بالحركة وأن المفعول الذي تبلغنا عنه معادلات لورانتز ليس غير مفعول منظوري. ومـا دام مرتحل لونجوڤان يبتعد أو يقترب من **الأرض**، فإن أخاه وهو ينظر إلى الميقاتية التي حملها معه تدق **يراها** تتأخر بالنسبة لميقاتية. لكن، حسب رأي برغسون، لن يتخلف هذا المفعول المنظوري عن الزوال في لحظة وقوف المركبة الفضائية الفيزيائي، بحيث يتعرف التوءمان على عمرهما الحقيقي، ذاته بالتأكيد. وفي رأي برغسون، المفعول مماثل لوهم انكسار القضيب الذي نغطسه بشكل مائل في مستنقع، الذي يبدو منكسراً بسبب انكسار الضوء في الماء: فالوهم يتوقف منذ أن يعاد القضيب إلى الوسط الهوائي المتجانس.

إن موقف برغسون، الذي يوفق بين معادلات لورانتز والزمان العام، يدعو منطقياً إلى نسبوية التسارعات. ونسبوية التسارعات هذه مناقضة للوقائع التجريبية ولا تصمد أمام تحليل للتجربة مفصل في إطار النسبية العامة.

النظرية على محك التجربة

تستخدم التجربة التي تصورها لونجوڤان حركات منتظمة لا تيتح بالفعل إعادة الميقاتية المرتحلة إلى السكون على الأرض. فيما يخص مناسبة إقامة أنشتاين في باريس عام ١٩٢٢، لقد نجم عنها مجادلة بينه وبين برغسون، مجادلة كان من شأنها أن تستمر في أن تحدث تعارضاً بين الأنصار والخصوم خلال عقود من الزمن. في عام ١٩٧١، نشر فيزيائي أميركي تحليلاً للتجربة في إطار النسبية العامة، بموجبها كانت التأخرات «الظاهرة» سوف تصبح حقاً معدومة لو كنا قد أعدنا بالفعل الميقاتية المرتحلة إلى حالة السكون على الأرض.

مع ذلك، سحرت، شعبية نظرية النسبية المتزايدة، وكذلك التحقيقات التجريبية الأولى لنتائجها في مجالات أخرى غير تمدد الزمان، الجماهير. وقد تكاثرت روايات الخيال العلمي والأفلام التي توضح هذا المفعول و«آلات الرجوع القهقرى في الزمان» العجيبة. بيد أن معظم هذه الأعمال تحتوي على خطأ فاحش، في النطاق الذي كان فيه الأبطال، المتعبين من استكشافهم الزماني، يعودون ليشرحوا لأصدقائهم ما قد رأوه. فإذا كانت النظرية تيتح فعلاً استكشاف المستقبل - معرفة ما سوف تكون عليه **الأرض** بعد عشر أو عشرين أو مئتي سنة -، فإنها لا تتوقع في الواقع أية وسيلة للعودة إلى الوراء، للرجوع القهقرى في الزمان.

ومن أجل إقناع الشاك، لا شيء يقوم مقام مثال للقديس توما: أن نرى اختلال الميقاتيتين لنصدقه. تاريخياً، تم الحصول على البرهان التجريبي التام لواقع الهوم غير المتساوي على مراحل.

بدءاً من عام ١٩٣٨، قيست مدة حياة الجزئيات غير المستقرة المنقولة في الأشعةَّ الكونية بسرعة قريبة من سرعة الضوء. فمدة الحياة الوسطية، المقاسة بواسطة مسافة طيران (قبل تفككها) هذه الجزئيات التي نعلم سرعتها، أطول بعدة مرات من مدة حياة الجزئيات نفسها «في حالة السكون»، بالتناسب الصحيح نفسه الذي توقعته النظرية. هذه القياسات لم تستطع تجريد أصدقاء برغسون من سلاحهم ومن إيمانهم بمفعول منظوري، لأن الجزئيات التي تلعب دور ميقاتيات «ينظر إليها» **في أثناء** حركتها. وهذا النقد ينطبق أيضاً على سلسلة التجارب الجديدة التي تمت بواسطة المسرعات الدائرية للجزئيات في أعوام الستينات، عندما قيست مدة حياة الجزئيات غير المستقرة (الميزونات موس) التي تجري في حلقة بسرعة ثابتة قريبة من سرعة الضوء. طبعاً، في هذه الحالة، تعود الجزئيات بشكل دوري إلى نقطة انطلاقها، بحيث تكون «الميقاتيات» المنقولة والميقاتية المرجعية، من حيث المبدأ، ممكنة مقارنتها. وتظهر التجربة أيضاً، بدقة متزايدة، تمدداً في مدد الحياة مطابقاً للتوقع النسبوي. لكن «الميقاتيات المنقولة» تظل باستمرار في حالة حركة ولا تكون مقارنة **في حالة السكون**، بعد رحلتها، مع ميقاتية المخبر. إضافة إلى دقة

القياس المتزايدة، ترتكز أهمية التجربة على كون سلوك الميقاتيات المنقولة في حركة دائرية منتظمة ممكناً أن يحلل ببساطة، أو في حدود نسبوية (نسبية خاصة) (ويكون حينذاك معدل تمدد المدد الزمانية المأخوذ بالإعتبار مقترناً بسرعة الجزئيات المماسية على مدارها الدائري) أو في حدود نسبوية (نسبية عامة) (ويكون تأخر الميقاتيات مفسراً حينذاك على أنه مقترن بتسارع الحركة الدائري الجابذ).

أخيراً، قام الفيزيائي الأميركي جوزيف هافيل. في عام ١٩٧١، إذ بدا له أن الدقة التي بلغتها الميقاتيات الذرية كانت قد أصبحت من بعد كافية من أجل الملاحظة المحسوسة لمفعول التقدم في العمر غير المتساوي، بتجربة حاسمة. فالميقاتيات «الذرية» التي يستعملها ليست بدرجة أقل ميقاتيات بالمعنى الإعتيادي للعبارة، بإطار عددي يدل على الساعة بتقريب يبلغ واحد من مليار من الثانية، وقد نوى هافيل القيام برحلة حول العالم في طائرة تجارية عادية، والإختلال الضعيف جداً الذي توقعه يعبر عنه بعشرة أجزاء من المليون من الثانية، لكن كان على دقة وأمانة الميقاتيات أن لا تدع أي شك في واقعيتها.

نُقِلت أربع ميقاتيات ذرية وقُورِنت مع أربع أخرى أُبقيت على الأرض. حدثت التجربة في فترتين زمانيتين. تم في بداءة الأمر القيام برحلة نحو الشرق وقورنت الميقاتيات بعد إعادتها إلى نقطة انطلاقها. وتم بعدئذ القيام برحلة ثانية حملت الميقاتيات نحو الغرب، فالإختلالات التي قيسَت في أثناء الرحلتين يجب أن لا تكون هي هي، لأن **الأرض** تدور حول نفسها نحو الشرق، ويجب أن تركب حركتها الذاتية مع حركة الميقاتيات.

لوحظ، عقب الرحلة التي تمت نحو الغرب، أن الميقاتيات المحمولة **تتقدم** على الميقاتيات التي ظلت على الأرض، بمقدار ٢٧٣ جزء من مليار جزء الثانية (بارتياب يبلغ ٧ من مليار جزء الثانية فقط، تبدو هذه النتيجة للوهلة الأرلى مفاجئة، لأن نظرية النسبية تتوقع بأنه يجب أن تتأخر ميقاتية متحركة بالنسبة لميقاتية ثابتة؛ لكن المفارقة ليست سوى مفارقة ظاهرية.

بالفعل، عندما ننظر إلى الميقاتيات المحمولة من جملة معلمية مرتبطة بالنجوم الثوابت نجدها في الوقت نفسه في حقل ثقالي أقل شدة (بسبب الإرتفاع) وفي جملة معلمية سرعة دورانها أقل من سرعة الأرض (تطرح سرعة الطائرة من سرعة الأرض). يجب بالطبع والحالة هذه أن تتأخر الميقاتيات الأرضية بالنسبة للميقاتيات المنقولة، ويتوقع الحساب التام اختلالاً يتوافق مع الملاحظة، مع الأخذ بالإعتبار سرعاً وارتفاعات سُجِّلت في أثناء الطيران والارتياب فيها.

في حالة الطيران نحو الشرق، توجد الميقاتيات المنقولة في جملة معلمية دورانها أسرع من دوران الأرض بالنسبة لجملة معلمية مقترنة بالنجوم الثوابت. لكنها تكون أيضاً، بسبب ارتفاع الطيران، في حقل ثقالي أقل شدة، فالمفعولان يتعارضان إلا أن الأول يتغلب، والميقاتيات المرتحلة عندما تكون قد أعيدت إلى الأرض **تتأخر** بالنسبة للميقاتيات التي ظلت على الأرض. والإختلال الذي تدل عليه يكون أيضاً معزواً تماماً للمفاعيل التي تتوقعها النظرية النسبية. ومنذ أن أعلنت هذه النتائج، لم يعد أحد يعترض على وجود المفعول النسبوي الخاص بتقدم في السن غير متساوٍ.

زمان المونادات (الجواهر الأحادية)

ربما يكون ممكناً الإعتقادُ بأن التخلي عن الزمان النيوتوني المطلق، بسبب نظرية النسبية، واختلاط متغيرات مكانية وزمانية في القياسات المسافية والزمانية قد زعزعا الزمان باعتباره مفهوماً أساسياً بالنسبة لوصف الطبيعة. غير أن هذا خطأ. وإنه لأمر مفارق، أن يكتسب مفهوم الزمان، الذي أعادت النظر فيه النظرية النسبية، وزناً أكبر: فهو يتخذ بالنسبة للزمان النيوتوني عمقاً جديداً، ويجبرنا نموذج السَّببية المنتشرة في النسبية، أن نُحلَّ محل الزمان اللامادي للإحداثيات الديكارتية، محل زمان نيوتن اللاهوتي، زماناً فردياً، مقترناً بكل شيء وبكل موجود. وهذا لزمان يحدد واقعها، ومصيرها، زمان الميقاتيات التي تنظم عمل أجهزتها ودواليبها الداخلية، باختصار زمانها الذاتي. واختلاط المتغيرات المكانية

والزمانية لا يفسد نوعية الزمان، لأن هذه النوعية تأخذ كل قيمتها ما دمنا نضع أنفسنا في جملة مرجعية حيث الشيء أو الموجود يكون **موجوداً**.

لكن دفعة واحدة؛ يحدد هذا الزمان أيضاً، لأنه ينتج من تناسق **الكون** بأسره عبر مبادىء النسبية، وحضور كل شيء، وكل موجود في العالم، وإسهامها في الصيرورة الكوسمولوجية برمتها، **في كون** موسوم بخاتم تاريخه. إن يحدد تضامن قدرها ويذكر من هذا القبيل بالمفهوم الليبنيزي بخصوص «المونادأي الجوهر الفرد»)، إذا ما ماثلناه بوحدة عاقلة فردية ومتوحدة، ربما سوف تكون في الوقت نفسه انعكاسات للعالم باسره.

* * *

الفصل الحادي عشر
حدود الزمان السببيّ

أتاحت نظرية النسبية إبراز مبدأ السببية المنتشرة الترتيبي. فاستطاعتها هي بحيث أنها أفضت، في الواقع، إلى مماثلة السببية والزمان، في ذهن مؤسسيها. إلا أن تفسير الزمان السببي ملطخ بشائبة مزدوجة وخطيرة.

من جهة أخرى، تقدم المعادلة فيما بين الزمان والسببية صورة مشوهة عن الزمان، لأنها تجرده من متجته (سهمه)(فهذا الزمان ما عاد موجهاً[1]، تمت والحالة هذه محاولة إدخال مبدأ آخر في النظرية (لسوء الحظ يدعى هو الآخر مبدأ سببياً) ربما سوف يعيد للزمان توجيهه، بتقريره أن ليس على السببية أن تكون مطبقة إلا في اتجاه وحيد: من «الأسباب» نحو «المُسبَّبات». إلا أن هذا الإنضمام يبدو اصطناعياً جداً، وحتى غير نافع، كما سوف نرى ذلك بصدد قوانين الكهراطيسية.

فوق ذلك، يحتمل أن لا يكون حقل تطبيق السببية عاماً (كلياً) بمقدار ما كان يعتقد أنشتاين. ويبدو أنه لا يشمل في الواقع غير الظواهر العيانية، لا عناصر الواقع في ذاتها، كما تثبت ذلك خواص الظواهر الانفصالية التي برهنتها بعض

---

(١) سبق أن كان لاپلاس قد ادرك أن الحتمية المطلقة تقضي على توجيه الزمان. ففي دراسته الفلسفية حول الإحتمالات (١٨١٤)، كان يلاحظ أنه بالنسبة لموجود ذكي بما يكفي كي يعرف في لحظة معينة كل القوى التي تؤثر على الطبيعة وكل الأوضاع والسرع النسبية للجزئيات التي تؤلف الكون «لا شيء يكون غير معين»، وسوف يكون المستقبل كالماضي حاضراً أمام ناظري». إن نفي الموضوعية بالمعنى الذي نذكر به هنا، مقروناً بحتمية النظرية الفيزيائية المطلقة، رفعها مينكوفسكي بلا شك إلى أعلى درجاتها. فهو قد أعلن وهو يتحدث في عام ١٩٠٨ عن تضمينات نظرية النسبية (قبل تطوير الكوسمولوجية الحديثة) أنه قد كان من الأفضل تصور العالم كما لو أنه قد كان حالياً ممتداً في اتجاهاته الأربعة، بدلاً من تصور العالم على أنه عالم ذو أبعاد ثلاثة في حالة صيرورة.

التفاعلات المتبادلة بين عناصر أولية . وقد كان، امتناع أن توصف بشكل منفصل أشياء (مواضيع) كوانتية، حتى لو كانت متباعدة، مُحتوى منذ زمن طويل في مبادىء الميكانيكا الكوانتية، إلا أن سلسلة تجارب حديثة العهد وضحت ذلك .

وتبدو، ضرورة اللجوء إلى مبدأ فرعي من أجل إرجاع اللاتناظر ماضي- مستقبل ولا إنفصالية بعض الخواص الكوانتية، أنهما يحدان عمومية المبدأ النسبوي السببي، ويدمران كل تلاؤم ممكن بين الزمان الأولي وهذه اللاإنفصالية .

سببية وواقع

كان المفهوم الزماني الحدسي قد حُدِّد بدقة في أثناء تطويرات النظرية الفيزيائية (الميكانيك الكلاسيكي، النسبية)، وقد غدا مفهوماً هندسياً يتيح أن نحدد كمياً، بشكل ينسجم مع المكان، وضع الحوادث على مسرح العالم، الممتد في أبعاده الأربعة، وقد ظهر بشكل متلازم مفهوم الطاقة والنموذج السببي، المقترنين هما الإثنان بالزمان بشكل حميم .

ومفهوم الطاقة مقترن بالزمان من خلال مبدأ تناظري، وفقه تكون قوانين الفيزياء خالدة ولا متغيرة في غضون الزمان، الخلاصة، يوضح المبدأ التناظري هذا أن على نتائج فيزيائية ما أنه تكون هي هي بعينها بكل دقة، سواء قمنا بهذه التجربة اليوم أو غداً. ينتج عن ذلك أنه ينبغي أنه تكون **الطاقة منحفظة** : وقد صاغ إيميلي نويتر، في عام ١٨٦٠، الصلة بين قانون انحفاظ الطاقة ولا تمايز الحركات الإنسحابية بتغير الزمان .

و**النموذج السببي** هو الآخر مقترن بانحفاظ الطاقة وبالزمان . فوفق هذا النموذج، تحدد المعرفة الدقيقة للشروط الفيزيائية لمنظومة في لحظة معلومة، لا محالة، مستقبلها . وقد حدد تطوير النسبية بدقة استعماله : تنتشر الأسباب عادة بسرعة الضوء، لكنها لا تنتشر أبداً بسرعة تفوق سرعة الضوء .

لقد علمتنا نظرية النسبية وتحليل السببية شيئين جديدين وأساسيين عن

الزمان. أولاً، خلافاً لقناعات نيوتن، لا يرتب جميع الملاحظين بالضرورة بالطريقة نفسها الحوادث في المكان وفي الزمان. فالزمان الذي يمر ليس والحالة هذه هو الشيء الذي لا خلاف عليه. ويمتن المفهوم النسبوي للزمان ـ الخاص شعورنا بالإنعزال وحتى بعدم قابلية التواصل. بعد كل حساب، تبرهن مغامرة توءمي لانجوڤان أنه ربما يستطيع حتى توءمان حقيقيان، من حيث المبدأ، أن يريا اختلالاً يحصل بينهما بحيث ربما لا يعود أحدهما نسخة عن الثاني في اللحظة الحاضرة؛ فأحدهما ربما يصبح مرآة شباب الآخر، والآخر نذير الشيخوخة التي تنتظره وكما كان يكتب جاك مونو ذلك في نطاق آخر: «إن الإنسان يعرف أخيراً أنه وحيد في فضاء الكون الشاسع اللامبالي! . .»

مع ذلك، فالدرس الثاني الذي تعلمنا إياه النظرية النسبية يصحح الأول: إن كل الأكوان ـ جزر تظل خاضعة لقانون مشترك، يفرض العلاقات بين الإيقاعات الخاصة بكل منها. فهذه العلاقات ليست والحالة هذه جزافية. وهذا القانون المشترك هو قانون السببية المنتشرة. فالمخروط الضوئي الخارج من حادثة يحتوي كل حوادث العالم التي تستطيع أن تكون له مرتبة. وكل مخاريط الضوء مجتمعة تنسج على الواقع شبيه شبكة حلقات ضيقة، تمنح العالمَ بنية ومعنى.

إن نظرية النسبية الأنشتاينية، إذا ما قورنت بمحاولات لورانتز وبوانكاريه المتهيبة، تكمن بالتأكيد في هذا الإيمان بوجود نظام في العالم، يفرض بخاصة إيقاع الميقاتيات النسبي، فالمبدأن الأنشتاينيان حول ثباتية سرعة الضوء ولا تمايز الجملة المرجعية المختارة من أجل وصف الطبيعة ليسا منطقياً متصلين فيما بينهما إلا في إطار هذا النموذج السببي. وقد غدت أهمية هذا النموذج في الفيزياء المعاصرة بحيث أنه، عندما يريد فيزيائي أن يبني نظرية تفاعل متبادل (بين جزيئين أوليين جديدين مثلاً)، يبدأ دائماً بأن يقول بأن على طاقات التفاعل المتبادل أن تخضع لتحويلات لورانتز في كل تغيير لجملة الإحداثيات. فواقعية أنشتاين هي والحالة

هذه واقعية سببية قبل كل شيء: لا يوجد شرح آخر ممكن لقوة المبدأين اللذين طرحهما، التوقعية الفائقة[1].

الزمان السببي ليس موجهاً

لكن تفسير الزمان السببي يجرده من اتجاهه، من «متجهته» (سهمه).

فنقطتان ـ حادثان من الكون ذي الأبعاد الأربعة تكونان أو لا تكونان متصلتين سببياً، حسبما تقع إحداهما داخل أو خارج المخروط الضوئي المرسوم بدءاً من الأخرى. ونظرية النسبية لا تدل هي بذاتها على الترتيب بين حوادث متصلة سببياً. إنها لا تشير لا إلى الحوادث الأسباب ولا إلى الحوادث المُسَبَّبات. وعلينا، من أجل تعريف متجهة زمان، أن ندخل عنصراً غريباً على الصورية (الشكلاوية) وأن نعلن أن الأسباب هي **مبدئياً** سابقة للمُسبَّبات. ويندد بعض الإيپيستيمولوجيين، في هذا المبدأ، بأنطروپومورفية صرفة. وفي رأيهم، ربما يكون الغيابُ الطاهر لحالات قد تكون فيها أسبابُ حادثة واقعةً في الجزء «مستقبل» من مخروطها الضوئي، مرتبطاً بامتناع كشف هذه الحالات بالنسبة للذكاء الإنساني. ففي الواقع، يطور الذكاء الإنساني خطابه في الزمان منطلقاً دائماً، من الأسباب ليستنتج منها المُسبَّبات.

وربما يكون المثال الأبسط لظاهرة يحكمها حل **لا ـ سببي**، تبيحه قوانين الكهراطيسية، كشف الأمواج الكهراطيسية الكروية التي تأتي لتُمتَص تلقائياً على ذرة. طبعاً، ربما نحتاج من أجل تفسير هذه الظاهرة بواسطة نوع من سبق العلم، إلى أن نكون قادرين على أن نحدد «سببها» ـ الذرة التي سوف تمتص الأمواج ـ، في حين أن هذا السبب ليس جلياً إلا في ختام، لا في بداية، السيرورة. ونشير إلى أن

(١) صحيح، أن أنشتاين لم يوضح رأيه في معظم الأحيان حول هذا الجانب من جوانب برنامجه الإيپيستيمولوجي: وأول ما يخطر في الذهن هنا، اسم مينكوفيسكي، من جانب الفيزياء الزياضية، ورايخنباخ، من جانب الإيپيستيمولوجيا. وكان أنشتاين يلح بطيبة خاطر أكبر على المبدأ النسبي، وفي مرحلة من مراحل حياته، على مبدأ ماخ، ولدى أنشتاين، يمضي مسعى الذهن العارف من المفهوم السببي إلى المبدأ الواقعي، بدلاً من عكس ذلك، وما يقدم دليلاً على ذلك، تقييماته التي كانت تتناول عبقرية نيوتن، الذي كان يحييه باعتباره «من ابتكر المفاهيم الأساسية للميكانيك وللسببية الفيزيائية»، والمناقشات التي أجراها مع ريتز حول أولوية السببية في علاقاتها بالانطروپيا.

الرأي القبلي للعلم بأن لا نأخذ بالإعتبار غير الأسباب الماضية والتي تمارس مفاعليها (مُسبَّباتها) في المستقبل هو اختيار حاسم بشكل مطلق. فهو في الواقع يعين الحد بين الفيزياء والميتافيزيقا، بين العلم المادوي والإيمان الديني. ذلك لأن الدين لا يستبعد بالطبع الأسباب الغائية، التي على العكس تبدو على أنها «مجال الله الخاص»!

رغم طابع هذه المواضيع المجرد، من المفيد أن نحدد بدقة ما قد قيل للتو بصدد انتشار الضوء والأمواج الكهراطيسية. فهذه تنتشر، بصورة عامة، انطلاقاً من منبع نقطي بشكل أمواج كروية ومشتركة في المركز، ومتباعدة بدءاً من النقطة ـ المنبع؛ ولا نصادف في الطبيعة الظاهرة العكسية ذات الأمواج الكروية المتقاربة طبيعياً، وهي «تنقض» على جزيءٍ مادي حيث قد تُمتَص. والحال، هو أن معادلات ماكسويل تسمح **قبلياً** بنمطيّ الحل. بناء عليه، يبدو أننا نفرض بشكل جزافي، الشرط الإضافي، المدعو سببياً[1] أو ذا «أمواج مؤخرة» والذي يرفض «الأمواج المقدَّمة» باعتبارها غير فيزيائية.

يمكن، مع ذلك، أن تكون هذه الطريقة لفهم السببية في النظرية الكهراطيسية، طريقاً مختصراً بالنسبة لقانون الأمواج الكهراطيسية الصحيح، إذا ما أخذت بالحسبان شروط تشكلها في كوننا المحسوس، الخاضع لقانون التوسع الكوسمولوجي. بدقة أكبر علينا أن لا نستبعد قبلياً إمكانية أن لا يكون الشرط السببي البدئي الجزافي والأنطروپومورفي من حيث الظاهر سوى طريقة تأليفية لتلخيص وضعنا في عالم لاتناظري من حيث شروطه النهائية (الحدية). إن القوانين الفيزيائية ربما تكون قانونياً متناظرة بالنسبة لاتجاه جريان الزمان، بتعبير آخر لا تبالي باتجاه السببية، لكن الـ «شروط الحدية» ربما تكون لا متناظرة، بمقدار ما يكون **الكون** فعلاً في حالة توسع.

---

(١) في هذه الحالة، تكون عبارة «مبدأ سببي» في الواقع غير دقيقة، لأنه يكاد أن يكون مختلطاً بالمبادىء النسبوية. والمقصود هو في الواقع أن نفضل الحلول الملائمة لسببية **بدئية**، بالنسبة لها تتبع المُسبَّبات الأسباب في الزمان، وأن نرفض وجود سببية **غائية**، بالنسبة لها قد تسبق المُسبَّبات الأسباب في الزمان.

بالفعل، أظهر جوهن هيلر ورشارد فاينمان في حوالي ١٩٤٩ أنه توجد طريقتان متكافئتان لعرض حلول معادلات ماكسويل:

- وفقاً للعرض الاعتيادي، لا نبقي إلا على الحلول المؤخرة، ونستبعد الحلول المقدمة لأنها غير فيزيائية.

- **شرط أن يكون الكون غير شفاف باتجاه المستقبل،** نجمع مع وزن يساوي ١/٢ الحلول المقدمة والحلول المؤخرة. في هذه الحالة يكون رد فعل الماضي في المستقبل هو الذي يتكفل بالغاء الجزء المقدم، وباعطاء الوزن واحد للحل المؤخر.

إن عدم شفافية الكون باتجاه المستقبل يدل على أن كل موجة مُصدَرة يجب أن تكون ذات يومٍ ممتصة. ومسألة عدم الشفافية نحو المستقبل ونحو الماضي هذه (التي وفقها ترجع كل موجة «مقدمة» مُصْدَرة اليوم، في الزمان، نحو حالة عدم شفافية الكون) تبدو والحالة هذه متصلة بشكل حاسم بمسألة السببية[1].

نحو الماضي، **الكون** غير شفاف بشكل واضح، بمقدار ما يكون نموذج الـ Big Bang صالحاً، أو على الأقل بقدر ما يكون تفسير إشعاع قاع السماء صحيحاً: فهذا الإشعاع يشهد على وجود مرحلة، في الماضي، حيث كانت المادة والإشعاع في حالة توازن.

لكن ليس من المؤكد أن يكون **الكون** أيضاً غير شفاف نحو المستقبل. ففوتون مُصْدَر اليوم يستطيع تماماً أن يجتاز المسافات الكونية دون أن تمتصه أية ذرة مادية مجراتية أو خارج مجراتية. وحتى لعله (إذا كان توسع **الكون** سريعاً بما يكفي والكثافة المادية ضعيفة بما يكفي) لن يُمتَص **أبداً**: **فالكون** ربما يصبح حينذاك شفافاً نحو المستقبل. لسوء الحظ، إن هذه الإرتياب يضعف إلى حد كبير الإستنتاجات التي نستطيع أن نستخلصها اليوم من أفكار هيلر وفانيمان.

(١) علينا أن نوضح: نحو المستقبل أو نحو الماضي، لأن **الكون** كما نلاحظه بأجهزتنا لا يتوافق بأي شكل من الأشكال مع مار بما نستطيع أن ندعوه «حالته الحاضرة». فالضوء الذي نتلقاه من المجرات البعيدة يشهد على لمعانها منذ ملايين السنين، وحتى مليارات السنين. والعكس، إن الفوتونات والرسائل اللاسلكية التي نرسلها إلى الأمكنة التي تتجاوز المجرات لا تبلغ هدفها المحتمل إلا بعد عدة الاف، عدة ملايين، عدة مليارات من السنين.

تم، في عـام ١٩٧٣ ، تجريب تجـربة غـريبـة في الولايات المتـحـدة من أجل محاولة الإتيان بعناصر جديدة إلى هذه القضية المثيرة للجدل. كانت المسألة مسألة البت في أمر ما إذا كان الكون شفافاً أو غير شفافٍ نحو المستقبل، باستخدام نظرية هيلر ـ فاينمان. وترتكز التجربة التي قادها الفيزيائي الأميركي پارتر تريدج، على إصدار أمـواج لاسلكية، بـواسطة أنتين وحيـد التـوجيـه، نحـو السمـاء، والمقارنة بطريقة جدّ دقيقة لاستهلاك المصدر للكهرباء عندما يوجه الأنتين نحو قطاع من السمـاء «خالي» من حيث الظاهر (من حيث الظاهر غير ماص، لكن علينا أن لا ننسى أن السماء كما نراها تعكس حالتها الماضية، في حين أن التجربة الفعالة التي نحن بصددها قد أجريت من أجل استنطاق حالتها الآتية) باستهلاك الكهرباء عندما يغلف الانتين بشاسة ماصة قدر المستطاع. فوفق نظرية هلر ـ فاينمان، إذا كان **الكون** غيـر شفـاف نحو المستقبل، فينبغي أن تنطفىء الأمواج المقدمة المصدرة تماماً وأن تكون الأمـواج المؤخـرة تبلغ شـدتها القـصوى، بحيث ربما يكون على الإستهلاك الكهـربائي أن يكون هو هـو في الحـالتين؛ وإذا كـان **الكون**، على العكس من ذلك شفافاً في المستقبل، فسوف يكون على الإستهلاك الكهربائي للمرسل أن يكون أقل في حالة الإرسال (الإصدار) في العراء.

تُفُحِّصت والحالة هذه بعناية خاصة الإستطاعة التي يستهلكها المرسل. لم يسجل أي فرق، في الحدود التي تبلغها دقة القياس، من رتبة واحد على مليار. واستنتاج المجرب هو أنه، مع تحفظ أن تكون نظرية هيلر ـ فاينمان صحيحة، يكون الإمتصاص على طول المخروط الضوئي الممدد نحو المستقبل تام، إلى ما هو أفضل من جزء من مئة مليون جزء على وجه التقريب. ومع ذلك، يعترض بعض المنظرين على هذا الإستنتاج.

لا نعـرف بعـدُ ما إذا كـان ممكناً أن نتـأكـد، بواسطة نظرية هيلر ـ فـاينمـان أو امتـداداتهـا الإحـتمـالية، من غياب الأمـواج المقـدمة ومن وجودنا في عـالم تكون الظواهر الفيزيائية فيه محكومة تماماً بالأسباب البدئية. فإذا كانت التفاعلات المتبادلة

مـادة ـ إشـعـاع تتم بشكل متناظر في نهـايتي سلسلة الزمـان، فـلا ينبـغي أن يكون الإنتشـار اللاتناظري للأمواج الكهـراطيسية السـببية (أمواج مـؤخـرة) أو المضـادة للسببية (أمواج مقدمة) ممكناً. إن ميكانيكية لا تزال مجهولة تحطم هذا التناظر قد ينبغي والحالة هذه أن توجد حتى أنه يبدو، في حالة النظرية الراهنة، أن الانتشارات الوحيـدة الجائزة ـ بمقدار مـا يكون الحل الوحيـد اللامـتناظر المتلائم مع مـعـارفنا الفيـزيائيـة الفلكية ربما يكون هو حل كـون غيـر شفاف نحو الماضي وشـفاف نحو المستقبل ـ يجب أن تكون انتشـارات الأمواج المقدمة، في حين أن انتشـار أمـواج موخـرة سوف يكو مـحظوراً، وهذا بالطبع أمـر مخالف للتجربة اليـومية الأكـثر بدائية. يعني أننا نبلغ ثَم الحدود التأملية النظرية للنظرية الفيزيائية الراهنة.

اللاإنفصالية الكوانتية

تتصل الصعوبة الثانية للتفسير السببي للزمان بتطوير الميكانيك الكوانتي. وقد أثيرت للمرة الأولى على يد أنشتاين في أثناء تفكره حول المبدأ السببي وعلاقاته بالمبدأ الواقعي. وقد اعتقد حينذاك أن الميكانيكا الكوانتية، كما كانت قد طُوِّرت، بخاصة من جانب بوهر و**مدرسة كوبنهاغن**، كانت بالضرورة نظرية غير تامة. لقد بت في الأمـر مـعظم الفيـزيائيين الحـاليين، بإعـادتهم قـراءة الموضـوع الذي نشـره أنشتاين وبوريس پودلسكي وناتان روزن، على وجه مخالف. وقد شـددوا على عدم ملاءمة معايير الواقعية التي طرحها المؤلفون، وبشكل أدق ضعف مبدأ السببية النسبوي كما هو مشروح، الذي يفترض كل خواص الأشياء (المواضيع) الفيـزيائية موضعية. وفي الواقع، إن الجواب الذي ربما نقدمه اليوم لسؤال أنشتاين وزملائه هو ذو أهمية فلسفية أوسع مدى أيضاً مما كانوا قد ظنوه. وربما يكون ممكناً أن ينص هكذا: «الميكانيك الكوانتي هو على ما يحتمل نظرية تامة. بيد أن الواقع الفيزيائي لا يملك الخاصة الموضعية. فهو غير قابل للتقطيع إلى أشياء فردية ربما تنتمي إليها انتماء خاصاً سمات موضوعية فردية. فهو غير قابل للإنفصال.»

وعلينا أن نعترف بأن محاكمة أنشتاين كانت متينة. كانت تحدد مآل نضح

طويل الأمد، نعثر على أثره في مداخلة شفهية، في مؤتمر سولقي الخامس لعام ١٩٢٧، ونستطيع أن نتتبع تنقيتها تماماً طول المناقشات التي أجراها مع نيلز بوهر في غضون الأعوام ١٩٣٠ - ١٩٣٣.

كان ماكس بورن، مخترع التفسير الإحتمالي للميكانيك الكوانتي، في عام ١٩٢٧، قد أثبت أنه يجب أن يقرن بكل جزيء موجة، تدعى **موجة كوانتية**. وتصف المعادلة الأساسية للميكانيك الكوانتي (معادلة شرودنغر) سلوك هذه الموجة، لا سلوك الجزيء ذاته. فالموجة ليست مادية: إنها وحسب تدل على أحتمال أن يظهر الجزيء المدروس في مكان معين، إذا ما سعينا لموضعته في لحظة معينة.

وقد اقترح أنشتاين، وهو يعقب على عرض بورن، التجربة الفكرية التالية. لنتخيل حركة جزيء يتوجه من اليسار نحو اليمين، ويكون مكرهاً على أن ينفذ من فتحة حاجز موضوع بشكل عمودي على مساره. لنتخيل بالإضافة إلى ذلك أننا نمتلك، على مسافة ما إلى يمين الحاجز، شاشة ومّاضة أو لوحة حساسة للضوء يأتي الجزيء ليطبع عليها، بعد أن يكون قد عبّر الفتحة، بصمته، ويدل الحساب على أن الموجة الإحتمالية التي تمثل الجزيء عند خروجه من الحاجز هي موجة كروية متباعدة تنتشر في المكان الموجود إلى يمين الحاجز بأسره (ظاهرة الإنعراج). برأي بورن، تمثل شدة هذه الوجة في نقطة ما من شاشة التجسيد (التمدية) احتمال أن نلاحظ الجزيء في هذه النقطة. لنختر اعطاء الشاشة الكاشفة شكل نصف كرة، يقع مركزها على فتحة الحاجز، كقدح مُهيأ ليلتقط الجزيء المنعرج. في هذه الحالة، سوف تبلغ الموجة الإحتمالية، والحالة هذه معاً كل نقاط الشاشة، كيف ندرك والحالة هذه أن الجزيء لن يتجسد أبداً إلا في نقطة واحدة، وليس في نقطتين، في عشر نقاط، في عشرين؟ أليس علينا أن نرتقب تأثيراً فورياً، وبالتالي يفوق سرعة الضوء، «ينبه» نقط الإصطدام الأخرى المكنة بأن الجزيء قد تجسد في موضع كذا ولا ينبغي والحالة هذه أن يظهر في موضع آخر؟

كان أنشتاين، يسلِّم، في محاكمته، في الواقع، أن الجزيء يوجد بالضرورة في مكان ما، على طول مساره بين الحاجز والشاشة، مع أن الميكانيك الكوانتي و «موجته الإحتمالية» غير قادرين على تقديم عرض عنه، ولا يقبل الفيزيائيون الكوانتيون أن يتحدثوا عن «موضع» للجزيء إلا في النقاط التي يكون فيها هذا الجزيء ليس وحسب مميزاً (مثلاً لدى مروره بالفتحة) بل وواقعياً «مقاساً»، أي ملاحظاً بشكل محسوس. ضدهم، طالب أنشتاين بحق التكلم عن خاصة «وضع الجزيء» في كل لحظة من لحظات وجوده، حتى لو كان الترتيب التجريبي لا يتيح معرفته فعلاً.

ومع ذلك، فإن تجربة أنشتاين الفكرية عويصة من جراء عجزنا عن أن نصف بدقة الميكانيكية التجسيدية لوضع الجزيء النهائي، فنقطة الإصطدام هي نتيجة سيرورة كيمياضوئية معقدة، بحيث أننا نستطيع أن نعترض، بمنتهى الشدة، على كون ظهور نقطة مضيئة على الوماض أو حبة فضة على اللوحة الفوتوغرافية يترجم فعلاً خاصةً «الوضع» التي ربما نكون مجبرين على أن نعزوها للجزيء، حتى لو كان الكشاف غير موضوع على مساره. ومن المعروف جيداً أن سيرورة قياس تستطيع أن تشوش موضوع (مادة) ملاحظة، ولا نستطيع أن نؤكد على الإطلاق بأن الشاشة لا تلعب غير دور منفعل، وأن الوضع المستكشف ربما سوف يكون هو هو في غياب الشاشة. وهذا ما من أجله كان يجب إنتظار تطوير تجارب أكثر تعقيداً)تصنعاً) من أجل محاولة البت في المناقشة.

وما دام التذكير بلا إنفصالية للواقع يظل نظرياً ومنحصراً بتجارب فكرية، لم يكن يزعج الفيزيائيين حقاً. وقد تغير الوضع في أعوام ١٩٧٠، عندما أصبحنا نعي الإمكانية الواقعية لامتحان اللاإنفصالية الكوانتية.

التوضيح التجريبي للاإنفصالية

قاد آلن أسپيكت، في معهد الضوء في أورسي، في مطلع أعوام ١٩٨٠، سلسلة تجارب مخصَّصه لإيضاح اللاإنفصالية الكوانتية، ودراسة بعض خواصها،

وتظهر هذه التجارب أن الحالات الاستقطابية لفوتونين مصدرين في بعض السيروات الذرية لا يمكن أن تكون معزوة إلى كل من الفوتونين منفصلاً.

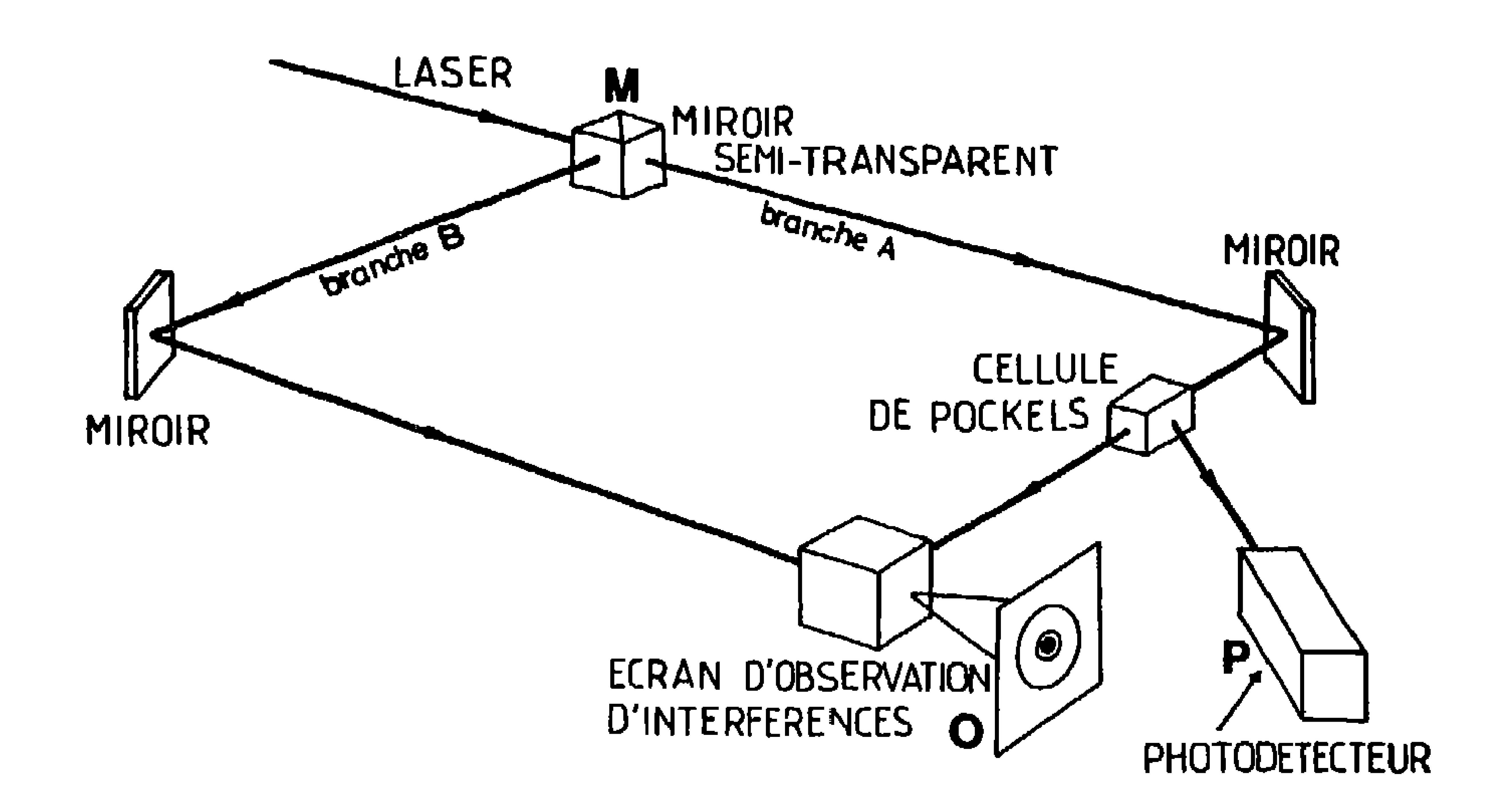
نضع على مسار كل فوتون محللاً (مرشح مستقطب) وتتجلى اللاإنفصالية عندما نعطي هذه المرشحات توجيهات مختلفة: مثلاً، نجعل محور الأول الإستقطابي عمودياً ومحور الثاني مائلاً عشرين درجة. فاللاإنفصالية تظل محققة حتى عندما يكون توجيه المحللات قد اختير بعد إصدار الفوتونين، وتكون المسافة بين المحللين بحيث لا تستطيع أية إشارة أن تسري من الواحد إلى الآخر بعد مرور الفوتون الأول وقبل مرور الفوتون الثاني.

نتيجة هذه التجربة وتجارب أخرى من النوع نفسه هي أنه يوجد في الطبيعة لاإنفصالية أساسية، بحيث تكون منظومتان بعد كونهما قد تفاعلتا تفاعلاً متبادلاً في الماضي (في تجربة أسپيكت، الفوتونان اللذان اصدرتهما ذرة بعينها) دائماً متضامنتين، مهما تكون مسافتهما الحالية. وليس من وصف تام ممكن لكل من المنظومتين دون الرجوع إلى الأخرى.

إن خواص الجزئيات التي تبدي ظاهرة اللاإنفصالية هي الخواص التي يصفها الميكانيك الكوانتي على أنها «متعارضة» عندما نسعى لقياسها على جزيء بعينه، الأمر الذي يعني أننا لا نستطيع أن نعرفها في آن معاً. على هذا الحال تكون الخواص الإستقطابية للفوتونات المقاسَة بواسطة محلّلات مُوَّجهة توجيهات مختلفة، أو أيضاً، بالنسبة لجزئيات مادية، الخواصُ ذات الصلة بالوضع وبالدفع، مقذوفةً على المحور نفسه، وبطريقة أكثر عمومية الخواصُ التي تستدعي وصف الجزيء على أنه موجةٌ بخلاف الخواص التي تذكّر بشيء نقطي. وقد كانت التجربة الفكرية التي

اقترحها أنشتاين في عام ١٩٢٧ من هذا النمط الأخير. وقد أتاحت التقنيات الالكترونية الراهنة مؤخراً تحقيق منوال منها محسن.

بناء على فكرة من هيلر حققت فئتان من المجربين تركيب جهاز حيث يتخذ قرار قياس إما وضع الفوتون (خاصة نقطية)، وإما، على العكس، خاصة موجبة (ملاحظة التداخل بين فرعي نضد بصري)، بعد إدخال الفوتون في الجهاز التجريبي. يصادف الفوتون في بداءة الأمر مرآة شبه شفافه، وظيفتها قسم «الحزمة»



إلى جزئين شدتاهما متساويتان. تسلك الحزمتان طريقين مختلفين، وفق الفرعين A أو B، بيد أنهما يتركبان في النهاية على الشاشة الملاحظاتية لدى خروجهما من الجهاز. فتكون الشدة الملاحظة على الشاشة «O» تابعاً لاختلاف المسير بين فرعي الجهاز، وهذا مفعول تداخلي كلاسيكي.

لنلاحظ بادىء ذي بدء بأن هذه التداخلات تلاحظ جيداً، حتى في الحالة التي تكون فيها شدة الحزمتين قد تناقصت إلى حد أن الفوتونات لا تعبر الجهاز إلا

واحداً فواحداً: طبعاً، في هذه الحالة، يكون باستطاعتنا، بقيامنا بإحصاء نقاط الاصطدام على شاشة الملاحظة O بعد أن يكون قد عبر الجهاز عدد كافٍ من الفوتونات، أن نستنتج وجود تداخل. فكل فوتون ينقسم والحالة هذه بطريقةٍ من الطرق، إلى موجتين تنتشران في فرعي جهاز قياس التداخل المنفصلين قبل أن يعودا ليندغما على الشاشة. وما هو أغرب أيضاً، النتيجة الثانية لهذه التجربة. نضع على مساو أحد الفرعين محولاً سريعاً لاتجاه السير (خلية پوكيلز) قادراً على حرف الفوتون، إذا ما كان حاضراً في هذا الفرع، كي يرسله نحو عداد «P» يثبت حضوره على هذا المسار. هذا العداد بفعل فعله والحالة هذه تماماً كعداد ربما نكون قد وضعناه في تجربة أنشتاين في نقطة محددة، في مكان ما بين فتحة الحاجز والشاشة. ويرتكز تهذيب التجربة على كون خلية الپكلز يمكن أن تشغَّل بعد أن تكون حزمة اللازر قد تفاعلت مع الصفيحة شبه العاكسة، إذن بعد أن يكون الفوتون قد «فصل» إلى حزمتين.

نتيجة التجربة: إذا لم تكن الخلية قد شغِّلت، يتصرف الفوتون دائماً كموجة؛ ويحصل تداخل بين الفرعين. وإذا كانت الخلية قد شغِّلت، نلاحظ خلافاً لذلك كل مرة من مرتين حضوره في الفرع A. لكن في هذه الحالة لا يوجد فوتون أبداً في الفرع B؛ ويظل الكشاف «O» أخرساً. في حين أنه لا يوجد أي تفاعل متبادل سببي ممكن بين تجسد الفوتون في العداد P وتجسيده في العداد O، «فقرار» حزمة «الفرع A» بأن يتصرف كجزيء يفهم على الفور من جانب الفرع B كأمر بأن «يتلاشى». فللفوتون والحالة هذه خواص غير موضعية تتعلق في آن معاً بالفرع A وبالفرع B[1].

(١) يمكن أن يُعبَّر عن تفسير تجربة هيلر وفق معيار الواقع الذي اقترحه أنشتاين وپودولسكي وروزن هكذا. إذا كان يوجد في كل فرع المقياس التداخلي منظومة كوانتية منفصلة، وبتأثيرنا على المنظومة الأولى (بوصلنا وفصلنا المحولة المؤلفة من خلية پودوكلز) دون أن نؤثر بأي شكل من الأشكال على المنظومة الثانية، فإننا نقود هذه الأخيرة إلى أن تتجلى، إماكموجة، وإما كجزيء، وعلينا أن نستنتج منطقياً أن هاتين الخاصتين تنتميان معاً بالضبط إلى هذه المنظومة. والحال، هو أن الميكانيك الكوانتي ينكر هذا الإحتمال، ويؤكد خلافاً لذلك أن خواص كون الأمر موجة أو جسم متعارضة. وربما يستنتج المؤلفون والحالة هذه أن الميكانيك الكوانتي غير تام. وحل المفارقة يمر عبر تأكيد أنه لا يوجد في مقياس التداخل غير منظومة واحدة، فوتون لا منفصل، حتى لو شغل الفرعين معاً.

إن اللاإنفصالية هي والحالة هذه في هذه الأيام واقع مثبت، ومع أن إيضاحها أمر دقيق ويستدعي بالضرورة ملاحظات متكررة على عدد كبير من المنظومات، فإنها ليست خاصية حدية، بحيث ربما نستطيع أن نهملها في تقريب أول بالنسبة لمنظومات بعيدة: وتظل في الواقع محققة بالنسبة لجميع المنظومات التي تفاعلت تفاعلاً متبادلاً في الماضي، مهما كانت «مسافتها» الحالية.

اللاإنفصالية، خاصة راديكالية للواقع

حتى مرحلة حديثة العهد، كانت نجاحات النسبية بحيث أنها عتمت وأقصت إلى المستوى الثاني اعتراضات وتحفظات فزيائيي وفلاسفة التقاليد التضامنية، أولئك الذين كانوا يشكون، بعد سپينوزا، بأن الفصل الذي نجريه على الأشياء هش وثانوي (وقد كان سپينوزا يبذل الجهد من أجل إظهار أنه لم يكن غير الإنعكاس الذاتي لإرادتنا السيطرةَ على الطبيعة، لإرادتنا «التملّكَ»). مع ذلك كان مجيء الميكانيك الموجي قد سبق له أن متن إلى حد كبير موقفهم. ليس البتة في أن تعيد الأمواج المُعادة إضافتُها إلى الجسيم جعل المكان أو اللاإنفصالية موضوع خلاف: فشبه - مجموع الفيزيائيين يسلمون بأن موجات الميكانيك الكوانتي تكون «لافيزيائية»، لأنها مجرد خوارزميات، موجات احتمالية. بيد أن الميكانيك الكوانتي يدخل تضامناً بين الشيء المدروس والأجهزة القياسية، لا يوجد في الفيزياء الكلاسيكية. وكان من عادة نيلز بوهر أن يلح على هذا الوجه الجديد لفلسفة الطبيعة: لا نستطيع التحدث عن خواص شيء كوانتي دون أن نحدد بدقة إلى أي جهاز نريد أن نخصصه[١].

إن أنشتاين، لإدراكه الخطر الذي كانت التصورات الجديدة تثقل به على الواقعية القابلة للفصل، أي فكرة أن منظومات الطبيعة المنفصلة في المكان تمتلك خواص تنتمي إليها بالذات، كان قد قاومها بضراوة. بيد أن الإستنتاج الذي

(١) كما عبر عن ذلك داڤيد بوهم، يجبرنا الطابع المحدد لثابت پلانك على تبديل التمثيل النقطي للمنظومات الكلاسيكية في المكان «الطوري» ذي الأبعاد الستة - ثلاثة أبعاد بالنسبة للوضع وثلاثة أبعاد بالنسبة لدفع الجزيء -، بخلية حجمية محدودة وثابتة (h^3)، يتعلق شكلها بوضوح بنمط الأجهزة المستعملة.

نستخلصه اليوم من هذه التجارب تختلف عن استنتاجه هو : ففرضية الإنفصالية هي ما يجب التخلي عنه ، في حين أن الميكانيك الكوانتي لم يكن قد دحر . وقد أظهر بيرنار دبسپانا ، في عام ١٩٧٥ ، أن أهمية دلالة النتائج التي تم الحصول عليها تتجاوز الإطار الضيق لتأييد أو إدحاض المبادىء الأساسية للميكانيك الكوانتي . فهي تميل في الواقع إلى برهنة اللاإنفصالية الأساسية للطبيعة ، بشكل مستقل عن كل نظرية خاصة .

بشكل أدق ، تدل النتائج التجريبية على أن واحدة على الأقل من المصادرات التالية خطأ :

١) مصادرة **الواقعية الموضعية** : تمتلك المنظومات خواص موضعية وباطنية لا تكون متأثرة بقرار أن نجري أو لا نجري القياس الملائم ؛

٢) مصادرة دوام **الخواص الباطنية** : الخواص المخصصة لمنظومة تظل صحيحة طالما ظلت المنظومة معزولة (باستثناء التفكك التلقائي) ؛

٣) مصادرة **اللا - إرتجاعية** : إن خاصة باطنية محققة على منظومة معينة لا يمكن أن تكون مغيرة بتعديل الأجهزة التي ستتفاعل معها هذه المنظومة في المستقبل .

٤) مصادرة **التنظيم المتدرج** : إن خاصة باطنية محققة على منظومة لا تكون متأثرة إذا ما قررنا ، اصطلاحياً ، أن نقيدها لا بالمنظومة نفسها بل بمنظومة أخرى أكبر تضم الأولى . مثلاً ، لا تكون الخواص الباطنية لألكترون معدلة ، سواء اعتبرنا الألكترون بحد ذاته ، أو بما هو جزيء من ذرة .

وفي الواقت الرهن ، لا يفكر أحد جدياً بالطعن في المصادرة الرابعة ، التي تنصب على عمليات ذهنية بشكل محض . وهذه لا تستبعد إطلاقاً إمكان أن تستطيع «المنظومات الصغيرة» أن يكون لها تفاعلات متبادلة فيزيائية مع «المنظومات الكبيرة» . وإعادة جعل المصادرتين ٢ و٣ موضوع خلاف ربما يزعزع حتى أسس إمكانية نظرية فيزيائية ، بمقدار ما ربما سوف

تدخل جبانة أو غائية في الطبيعة، غير قابلة للفهم ببرنامج العلم، الذي هو البحث عن القوانين السببية. فالشكوك لا تنصب والحالة هذه طبعاً على المصادرة الأولى، مصادرة الإنفصالية.

وتقودنا الخواص اللاموضعية للواقع، التي أوضحها الميكانيك الكوانتي، إلى أن نتفحص من جديد أهمية دلالة المبدأ السببي، وإلى أن نبحث مجدداً تحديد هوية الزمان كپارا ميترسببي، كما اقترحت ذلك النسبية.

فصل السببية والزمان

يعبر دسسانا عن قناعته حول ضرورة التخلي عن مبدأ الإنفصالية وعواقبه هكذا: «في إطار تصور واقعي لا أرى فيما يخصني حلاً آخر غير التخلي عن مبدأ الإنفصالية. وذلك يدل، تخطيطياً، إما على أن علينا أن نعتبر بعض المنظومات المتباعدة حالياً عن بعضها البعض على أنها تشكل منظومة وحيدة، وإما على أنه يوجد بين المنظومات المتباعدة تأثيرات أسرع من الضوء.»

إن هذه الصياغة تثير مع ذلك قضية. هل إن حدي التخيير - تضامن المنظومات التام أو تأثيرات أسرع من الضوء بين منظومتين منفصلتين - هما حقاً طريقتان متكافئتان للتعبير عن الحالة نفسها؟ هذا أمر غير مؤكد، والثانية تبدو في جميع الأحوال جد متهورة، بمقدار ما يمكن أن تدعنا نعتقد أن قوانين النسبية تكون أحياناً منتهكة. فكل الناس يعترفون في الواقع أن التجارب المؤسسة على «مفارقة» أنشتاين وپودولسكي وروزن، تظهر **تأثيرات** آنية على بعد، لكنها لا تيتح في أي حال من الأحوال نقل **إشارات** تشتمل على معلومة بسرعة أكبر من سرعة الضوء. وذلك ينتج عن الطابع الصدفوني بشكل صارم للاحظات حصلت في موضع واحد بعينه. مثلاً، لا يسجل ملاحظ واقع قرب أحد المحللين في تجربة أسپيكت أبداً غير أجوبة صدفوية، تخضع للقانون الإحتمالي نفسه مهما كان ترتيب المحلل الذي يفحص الحالة الإستقطابية للفوتون الآخر في ذراع الجهاز الآخر. ولسنا نستطيع، إلا عندما نمتلك إحصاءات تخص القياسات التي أجريت على الفوتونين معاً، أن

نوضح العلاقات المتبادلة المميزة للاإنفصالية. بهذا الشكل، لا يشكل «التأثير» بين التوجيه المعطى لأحد المحللين والجواب الذي يتم الحصول عليه في الآخر (والعكس بالعكس) «إشارة». غير أنه من الأفضل بلا شك أن نتجنب، في مضمار نعرف أن نميِّزه بواسطة اللا ـ إنفصالية، الحديث عن نقل على بعد للتأثير بين أشياء «متباعدة»، في حين أن مفهوم التباعد يفترض ما هو مسافي، وبالتالي ما هو إنفصالي.

وإذا ما أخذنا بالحسبان اللاإنفصالية التي تميز من الآن فصاعداً النظرية الفيزيائية المعاصرة، ما عساه يكون قانون السببية؟ فهل إن اللا ـ إنفصالية تعيد طرح مسألة الحتمية؟ لا يمكن أن توجد نظرية فيزيائية دون حتمية ويبقي مبدأ السببية النسبوية على كامل قيمته ما دام يطبَّق على سوية إجرائية للظواهر. لكن، كما شدد على ذلك دسپانا، ما عاد مبدأ السببية النسبوية يستطيع، في أي حال من الأحوال، أن يكون مفهوماً على أنه مرتبط بالواقعي في ذاته، الذي يتملص من المقولات الزمانية والمكانية المؤسسة على النسبية. من ثَم بالذات، ما عاد يستطيع أن يؤسس أنطولوجيا للزمان. إن المثل الأعلى للنسبية، التي ترجع الزمان إلى التعبير عن قانون للسببية المنتشرة في الطبيعة في ذاتها، يجب أن يهجر. يجب الفصل بين الزمان والسببية.

في الميكانيك الكوانتي، يطرح تحديد هوية الزمان كثابتة (Parametre) سببية مباشرة (في معادلة شرودينغى مثلاً) مسألة معترف بها منذ زمن طويل. إن زمان الميكانيك الكلاسيكي كان قد «أدخل» في هذه المعادلة دون تغيير، أي على أنه مجرد ثابتة وليس على أنه عامل، على غرار المقادير الفيزيائية الأخرى القابلة للقياس. إن إدرخال ثابتة (پاراميتر) سببية في النظرية الكوانتية مختلفة عن الزمان كان قد سبق أن اقترحه منذ عدة سنين داڤيد بوهم. وقد عرف إليا پريغوجين، في وقت أقرب عاملاً زماناً كوانتياً موصولاً بالزمان ـ صيرورة.

ويفتح الفصل الذي أجري بين الزمان والسببية النسبوية أيضاً الباب

لمقاربات أخرى. وقد لاحظ أوليڤيبه كوستادي بوروغارد أنه يكون، في الميكانيك الكوانتي استمرار الإنتقالات في المكان-زمان مفقوداً إذ أن جميع الظواهر تحلل فيه بتعابير «قفزات كوانتية»، وعلينا والحالة هذه أن لا نستبعد إمكان حصول قفزات فجائية لمكان-زمان «مستقيم الزمان orthochrone»، فيه يجري الزمان طبقاً للاتجاه الذي نعطيه إياه عادة، لأمكنة-زمانية فيها يجري الزمان بعكس الإتجاه العادي. هذا الوضع يستدعي تمييزات جد بارعة، بمقدار ما يكون صعباً أن نحتفظ في الذهن في كل لحظة، عندما نتحدث عن «زمان» دون إيضاح آخر، بقضية معرفة ما لمفهوم المقصود: المفهوم البدائي أو مفهوم نسبوي موسع. مع احتمال التخلي عن الانتساب بين السببية والزمان، كثيراً ما فتش عن تعابير جديدة، لازمانية تماماً، للمبدأ السببي. وقد وجدت بعض المحاولات في هذا الإتجاه، بواسطتها نفتش عن التعبير عن السببية في إطار الإحتمالات الشرطية. ومن وجهة النظر هذه، تدل السببية فقط على أن احتمالات تحقق حادثة لا تكون هي هي، حسبما تكون بعض الشروط متوفرة أولاً، دون أولوية زمانية. وهذه المحاولات التي يسهم فيها كوستادي بوروغارد، لا تزال جدّ جديدة أو جدّ مجزأة بحيث لا نستطيع أن نصدر بشأنها حكماً نهائياً.

* * *

إن إنفصالية السببية والزمان، التي جعلتها ضرورية اللاإنفصالية الكوانتية، تمنح فرصة تمثيل العلاقات بين مفهوم الزمان البدائي والمبادىء التي تشتق منه في العلوم الفيزيائية وعلوم الطبيعة. وسوف يكون علينا، من أجل تغذية هذا التفكير، أن نلتفت من جديد إلى الوقائع، كي نتقراها بفضل كل الرهافة التي جعلتنا وسائل التقصي الحديثة قادرين عليها.

* * *

الجـزء الثـالث

من الــذرة إلـى الكـون ،

انبثـاق الصيرورة

الفصل الثاني عشر
زمان الذرات المعلّق

نظرنا حتى الوقت الحاضر في مسألة بناء مفهوم الزمان الفيزيائي من وجهة نظر تاريخية. وقد قادنا هذا التطوير إلى تفسير الزمان السببي، الذي قسنا مقدار صعوباته وحدوده. وبتبنينا مسعى آخر، سوف نختبر الآن مدى الزمان الفيزيائي متسلقين من طرف إلى طرف آخر سلم أبعاد المنظومات، من أصغرها إلى أكبرها. وسوف نرى أن ليس للزمان تأثير على الجزئيات الأولية، التي تحكمها قوانين الميكانيك الكوانتي، منذ أن نعتبرها كمنظومات مغلقة ومعزولة. فبالنسبة للذرات، يكون الزمان إذا صح القول «معلقاً»، على حد تعبير دي لامارتين. إن ذرة معزولة، لا تستطيع، رغم إحتمال قدرتها على أن تتفكك، أن تنبئنا شيئاً عن جريان الزمان.

فالذرات المشعة أو الجزئيات الأولية غير المستقرة تتفكك تلقائياً. والزمان الذي يمر قبل تفكك ذرة أو جزيء متغير إلى أقصى درجة، بيد أن الذرات والجزئيات من نوع معين ذات حياة وسطية مميزة لهذا النوع. بهذا الشكل، يكون، بعد حقبة تدوم ٦,٥ مليار سنة، نصف ذرات اليورانيوم الحاضرة في بداية هذه الحقبة قد تفكك. إن المواد المشعة الطبيعية ليست وافرة، وتلك التي تكون مدة حياتها الوسطية أقل جداً من عمر الأرض زال معظمها عن سطح الكرة الأرضية. بيد أن الفيزيائيين يستطيعون أن يوجدوا، في المختبرات، بواسطة التفاعلات النووية، ذرات أو جزئيات أولية مدة حياتها الوسطية أقصر إلى ما لا نهاية من حياة اليورانيوم الوسطية. من بين هذه، لنأخذ حالة الميزونات پيس، التي لا تتجاوز حياتها الوسطية، في الحالة الحرة، ٠,٠٣ ميكرو ثانية، والميزون K، الذي توجد منه نسختان ذات مدة حياة مختلفة، كل منهما من مرتبة واحد من مليار جزء الثانية.

إن هذه التفككات، سواء كانت طبيعية أو مثارة في المختبر، تغطي سلماً زمانياً واسعاً؛ ويكفي وجود ظاهرة عدم استقرار المادة وحده لبرهنة أن الصيرورة مندرجة في قلب الأشياء. وتمنح التفككات النووية تربة مثالية للباحثين الذين يريدون أن يلاحقوا المدة الزمانية الفيزيائية، بسبب ابتدائية وبساطة الوصف النظري (في الميكانيك الكوانتي) للأشياء الفيزيائية المعنية.

التفككات الذرية التلقائية تخضع للصدفة

إن تفكك الجزئيات غير المستقرة يبدو خاضعاً لقانون فيتو مينولوجي بسيط، مميز لظواهر تزايد الأنطروبيا. وهذا القانون هو القانون الأسي المتناقص، الذي يعود اكتشافه في حالة الذرات المشعة إلى الأعوام الأولى من القرن العشرين. ففي ذلك العهد، كان قد سبق لماري كوري أن اكتشفت إحدى أول المواد المشعة، البلوتونيوم، ونقت مادة أخرى منها، الراديوم، بتركيزها بصبر وأناة أطناناً من فلزات الأورانيوم في سقيفة **مدرسة الفيزياء والكيمياء الصناعيتين الباريزية**. في عام ١٩٠٣، كان نشاط اليورانيوم والتوريوم والراديوم ومنتجاتها، كما كانت تدعى حينذاك) مادة قياسات منهجية، خاصة في مختبر إيرنست روثير فورد وفريديريك صودِّي في مونتريال. قيس نشاط هذه المواد بوضع عينة بين صفيحتي مكثفة كهربائية. وقد جعل التأيينُ الذي حرضه النشاط الإشعاعي الهواءَ أو الغازَ ناقلاً بين صفيحتين المكثفة. وكان تيار الإنفراغ متناسباً مع عدد الأيونات التي أوجدتها الإشعاعات بين الصفحتين.

دون روتيرفورد وَصودِّي، في أثناء ملاحظاتهم، أنه في كل مرة تستعمل فيها مادة مشعة وحيدة، مع الإهتمام بفصلها عن المواد المشعة الأخرى التي ولدتها أو التي تكون متولدة فيها بدورها، يتناقص النشاط المقاس (تيار التأين) دائماً بشكل أسي مع الزمان:

$$I(t) = I_0 e^{-\lambda t}$$

الأمر الذي يعني أن عدد الذرات المشعة الموجودة في العينة تتناقص هي ذاتها

تناقصاً أسياً مع الزمان، شريطة أن ينتج كل تفكك كمية الأيونات نفسها. ونستطيع أن نقول أيضاً، باشتقاقنا رياضياً المعادلة أعلاه بالنسبة للزمان، أن «نسبة المادة المشعة التي تتحول في وحدة زمية ثابتة». وعدد الذرات الحاضرة في اللحظة t وحده يعين عدد الذرات التي سوف تتحول في وحدة زمانية تلي، ولا يبدو أي تأثير خارجي، ما عدا كمية المادة المشعة الحاضرة، قابلاً لأن يعدل عدد التحولات الملاحظة. وقد استخلص روتير فورد وصودِّي أن النشاط الإشعاعي هو خاصة مميزة للعنصر المعتبر، قوامها تحطيمه الخاص. ويدعى الثابت λ ، الذي يميز سرعة هذا «التفكك» التلقائي، معدل تفكك المادة المدروسة.

لم يعلق روتير فورد وصودِّي أكثر على هذا النزوع من جانب المادة إلى أن تدمر ذاتها بذاتها التي كانا قد أوضحاها للتو والتي تعيد جعل استقرار المادة ولا مبالاتها بالنسبة للزمان موضوع خلاف. مع ذلك، لم يكن أنشتاين بعدُ، في عام ١٩٠٣، قد طرح إبدال قانون انحفاظ الكتلة بقاون انحفاظ الطاقة[1].

بناءً على أعمال روتير فورد وصودِّي، كان قانون انحطاط المواد المشعة الأسي تقريباً يُقبل دائماً دون تحفظ. وهو، عادة، يصف ظواهر إطلاق، يقابل تفريغاً مفاجئاً لطقاة تراكمت ببطء، وبددت بشكل حرارة. وهذه الظواهر متواترة في الميكانيك وفي الألكترنيات. فعندما يكون، في كل حظة، تدفق التفريغ (تيار كهربائي مثلاً) متناسباً مع الكمون (فرق الطاقة مثلاً)، فحينذاك يتناقص التدفق شأنه شأن الكمون أسيّاً. وبرهانه الرياضي سهل. والظاهرة يمكن من جهة أخرى أن تتكرر بشكل دوري، بتتابع رتيب من الشحن والإنفراغ. حينذاك يكون لدينا ما

---

(١) إن مقال روتير فورد وصودِّي، الذي يلخص ملاحظاتهما، يحتوي مع ذلك على تعليقات ثاقبة حول طبيعة الإشعاعية ونتائجها الممكنة: «يجب والحالة هذه أن تكون التحولات المشعة على الأقل، / ٢٠,٠٠٠/ مرة، وربما مليون مرة، أكبر من التحول المتضمن في أي تحول جزيئي [. . .]. لكن لا يوجد أي سبب لافتراض أن هذه الكمية الضخمة من الطاقة المختزنة تمتلكها وحسب العناصر المشعة. ويبدو محتملاً أن تكون الطاقة الذرية بصورة عامة من مرتبة كبر مماثل وبهذا القدر من الإرتفاع، مع أن غياب التحول (المشع) يمنع وجودها من أن يتجلى [. . .]. ووقاع كون الطاقة الشمسية تبقى في الحالة نفسها، كمثال، لم يعدل ينطوي على صعوبة أساسية منذ اللحظة التي نسلم فيها بأن الطاقة الداخلية للعناصر التي تكوِّنها يمكن أن تكون جاهزة (حرة)، بواسطة تحولات ما دون ذرية تجري (في باطنها).

نستطيع أن ندعوه «ميقاتية تيرمودناميكية»، في مقابل «الميقاتيات الميكانيكية» المؤسسة على ظواهر النوسانات المغذاة (ذات السعة الثابتة). إن الميقاتيات التيرموديناميكية، حتى في اشتغالها، تبدد طاقة؛ وعلى العكس، ما هو أساسي، في الميقاتيات الميكانيكية، أن تكون ظواهر التبديد (الإحتكاكات الميكانيكية، التيارات الأومية) مقلصة إلى أدنى حد. في مجال التطبيق، يكون قانون الإنحطاط الأسِّي هو توقيع ظاهرة إطلاق. والعكس، كل ظاهرة تعزو إليها صفة ظاهرة إطلاق تكون معدودة خاضعة لقانون تغيرا أسِّي في الزمان.

إن تفكك الجزئيات غير المستقرة يبدد حرارة. وفي الوقت نفسه، يسبب ظهور نوعين من الذرات على الأقل في باطن العينة، لأن البعض منها يتحول والبعض الآخر لا. ويعطي الكشاف عدد الذرات التي تفككت، لكنه لا يحدد أيها. ونستطيع أن نظهر أن الإلتباس المقابل، المقيَّم بعيارات إعلامية، يتيح تقدير تزايد الانطروپيا المقابلة الأدنى[1]. إن العينة المشعة تشكل حقاً ميقاتية تيرمودنياميكية.

مع ذلك، لا يبدو تفكك الجزئيات غير المستقرة ظاهرة إطلاق عادية، لسببين، أولاً، في ظواهر الإطلاق، يجب أن يكون التدفق والكمون متناسبين؛ بيد أنه ليس من السهل أن نعرف هنا لماذا ينبغي أن يكون التدفق (عدد التفككات في الثانية) متناسباً مع الكمون (كتلة العيِّنة). **ثانياً**، تعاني النظرية الراهنة بعض الصعوبة في تبرير قانون الإنحطاط الأسِّي وتميل بالأحرى إلى توقع قانون يختلف اختلافاً زهيداً.

ومن أجل أن يكون عدد التفككات في الثانية متناسباً مع كتلة العينة الملاحَظَة، يجب من جهة أن تكون **كل** ذرات عينة مشعة موجودة في اللحظة t تملك عين الإحتمال بأن تفكك في غضون الفاصلة الزمانية التي تلي، ومن جهة أخرى أن يكون **لكل** ذرة، إذا ما أخذت بمفردها، شريطة أن توجد في حالة عدم تفكك في اللحظة t، عين الإحتمال في أن تتفكك في غضون الفاصلة الزمانية التي تلي، **مهما**

(١) إن الجمهرة البدئية من ذرات نوع معين، متجانس وبالتالي قابل للوصف بحد أدنى من الإعلام، تتحول إلى جمهرة لا متجانسة من أنواع مختلفة. قد يتطلب وصف توزعها في باطن العينة إعلاماً مفصلاً أكثر.

كانت اللحظة المعتبرة. وهذان الشرطان ينبغي أن لا نخلط بينهما. والثاني هو الأهم في وجهة النظر التي تشغلنا، إذ إنه هو الذي ينفي أن يكون للمفهوم الزماني أو الخاص بالمدة الزمانية معنى عندما نطيقة على ذرة واحدة. إنه، بالإجمال، يعبر عن عدم اهتمام كل ذرة بالنسبة لماضيها الخاص. وهو يؤكد أن المدة الزمانية هي ظاهرة جماعية، ظاهرة تستعمل بالضرورة مجموعات: باختصار، إن الأمر هو أمر ظاهرة تيرموديناميكية.

إن هذا الشرط المعلوم تحت اسم **قاعدة فيرمي الذهبية** حصل على برهانه في إطار الميكانيك الكوانتي. بيد أن البرهان المعني يستدعي تقريباً لا يستطيع أن يكون مبرراً تماماً. ينتج من ذلك أن التفككات المشعة ربما سوف لن تخضع بصرامة لقانون الإنحاط الأُسّي.

نفترض، في برهان قاعدة فيرمي الذهبية، أن كامل طاقة التفكك يمكن أن يأخذ أية قيمة، موجبة أو سالبة، في حين أن هذه الطاقة تكون دائماً موجبة، من حيث المبدأ، يبدو التقريب الذي تم القيام به ذا أهمية ضعيفة: من جراء قانون انحفاظ الطاقة، تكون الطاقة النهائية للحالات المتفككة دائماً قريبة جداً من الكتلة الأصلية (الموجبة) للذرة أو للجزيء قبل تفككها (تفككه). والفرق المحتمل محدود بعلاقة عدم التعيين الرابعة لها يزنبرغ التي تربط بين الإختلافات الممكنة في بيان الطاقة ومدة حياة الذرة أو الجزيء غير المستقر، وإذا ما أخذنا بالحسبان في حساب شرط موجبيه الطاقة النهائية بشكل دقيق، نجد أن احتمال التفكك، بدلاً من أن يكون ثابتاً كما تقضي بذلك قاعدة فيرمي الذهبية، ربما ينبغي أن يتناقص بشكل طفيف جداً في غضون الزمان.

ـ هكذا، ربما ينبغي أن نلاحظ، بدلاً من قانون أسِّي بشكل صرف للتفكك، تناقصاً أقل بالنسبة للمدد الزمانية الكبيرة جداً. إذا صح القول، ربما تشيخ الذرة قليلاً، ويكون حظها في أن تتفكك أقل فأقل؛ بيد أن الفارق بالنسبة لما يتوقعه قانون أسِّي بشكل صرف لا يكون محسوساً حقاً إلا بالنسبة لمدد حياته من مرتبة ثلاثين حياة وسطية أو أكثر.

في الواقع إن الإختلاف في السلوك هو من الضآلة، على الصعيد الكوانتي، بحيث أنه لم يوضَّح بعد في الملاحظات التجريبية وربما نستطيع أن نتخيل تجربة تستعمل مسرِّع جزئيات لاختبار قانون الإنحطاط الأسِّي بكل الدقة المطلوبة، مثلاً بملاحظتنا تفكك مليار مليار ميزون پيس. وهذه تجربة قد تكون تجربة شاقة تقتضي عدة سنوات عمل. فهل إن إيضاح فارق بهذه الضآلة بالنسبة لقانون بسيط ربما يستحق هذا الجهد؟ بالتأكيد، لأن الأهمية الإيپيستيمولوجية لمثل هذه التجربة جوهرية. فافتراضنا أن فارقاً في قانون الإنخطاط الأسِّي ربما سوف يلاحظ، هو أمر ربما سوف يعني أن الجزئيات «الأولية» ليست في الواقع غير متأثرة بالزمان الذي يمر؛ والتأكيد الذي يكون بموجبه الدوام الزماني نموذجاً صالحاً وحسب بالنسبة للمجموعات الذرية الكبرى، مفهوماً عيانياً، ربما سوف يُلغَى مكذَّباً. وفي الحالة المعاكسة حيث ربما تؤكد القياسات صحة قانون الإنحطاط الأسِّي رغما عن التصحيحات التي توقعتها النظرية، فإن الطابع الجماعي للدوام الزماني سوف يكون مؤكداً، بيد أننا قد لا نستطيع الإفلات من الإستنتاج الذي بموجبه ربما لن يكون المتغيران «طاقة» و «زمان»، الموصوفان على أنهما مقترنان في الميكانيك الكوانتي، هما المتغيران المقاسان بالفعل بواسطة أجهزتنا القياسية. وقد يكون من المناسب حينذاك أن نعيد تعريفهما، مثلاً بنظرنا في «زمان» كوانتي، يتختلف عن الزمان الكلاسيكي، ربما سوف يكون مرتبطاً به بواسطة نوع مبدأ تقابل. . . وقد سبق لإيليا پريغوجين وفريقه أن طوروا مقاربة من هذا القبيل.

عكس الزمان: عملية نظرية

يجب أن يكون زمان الميكانيك الكوانتي والزمان الكلاسيكي متمايزين في مسألة **عكس الزمان**.

لا ريب أن المصطلح الذي أدخله هنا منظرو الميكانيك الكوانتي ليس جداً موافق، لأن تعبير «عكس الزمان» يتعارض حتى مع تعريف المفهوم الزماني البدائي. وحتى في الفيزياء النسبوية، حيث نستطيع أن ننظر في أوضاع وبيئات

وتجارب فيزيائية بحيث يمكن أن يكون إيقاع ميقاتية معدلاً بشكل عميق، لا نصادف أبداً أوضاعاً حيث يكون اتجاه تغير الزمان معكوساً. وتوءم لونجوڤان، لدى عودته من رحلته، ربما يستطيع أن يعيش على **الأرض** في القرن الثاني والعشرين، لكنه قد لا يكون باستطاعته أبداً أن يحيا من جديد في عهد فرانسوا الأول. فالزمان النسبوي يهرب دائماً نحو الأمام، حتى لو لم تدق كل الميقاتيات الثانية عينها.

يعني يجب أن يكون التعبير مأخوذاً بمعنى مجازي، لا حرفياً. فأن نعكس الزمان، هو أن نتخيل موجوداً خارقاً موهوباً ذاكرة «معكوسة» تتذكر المستقبل[1]، ونتساءل ما إذا كانت، بالنسبة لهذا الموجود، قوانين الفيزياء ربما سوف تصبح مختلفة عن تلك التي نعرفها. عملياً، معنى ذلك أن نبدلها بعكسها، في معادلات النظرية الأساسية، أي المقادير أزمنة وسرع وتيارات، في كل مرة تبدو فيها. فإذا ما بقيت القوانين مطابقة لنفسها بعد هذه التحويلات، فسوف نستنتج أن الماضي والمستقبل قابلان للتبادل فيما بينهما من وجهة نظر النظرية الفزيائية: وسوف نتحدث عن تناظر للطبيعة عبر عكس الزمان. وإذا كانت مختلفة، سوف نقول إن هذا التناظر مفقود، أو أنه قد خرق. إن غياب التناظر عبر عكس الزمان يتضمن بالطبع أن ليست الطبيعة غير متأثرة بجريان الزمان، وأن «لمتجهة الزمان» دلالة موضوعية.

كل القوانين القاعدية في الفيزياء تخضع في الواقع لتناظر عبر عكس الزمان، سواء أكان الأمر في الميكانيك الكلاسيكي، أو في الميكانيك الكوانتي أو في النسبية. وبالتالي فإن اللاتناظر الملاحظ في تطور المنظومات المادية العيانية التي دراستها هي مادة التيرموديناميك، لا يمكن أن تكون معزوة إلا إلى شروط حدية خاصة جداً، لا تزال إلى يومنا موضحة بشكل ناقص، وربما مرتبطة بطور توسع الكون الراهن.

من جهة أخرى، لقد نص، في أعوام ١٩٥٠، جوليان شوينغر وجيرهارت

---

(١) مثلاً، إنه يرى الميقاتيات تخفض الساعات، والأنهار ترجع إلى منابعها، الخ، وبالنسبة له يكون للمعالم المظهر نفسه الذي يكون بالنسبة لنا عندما ننظر إلى فيلم ملفوف بالمقلوب ويبدأ عرضه من النهاية.

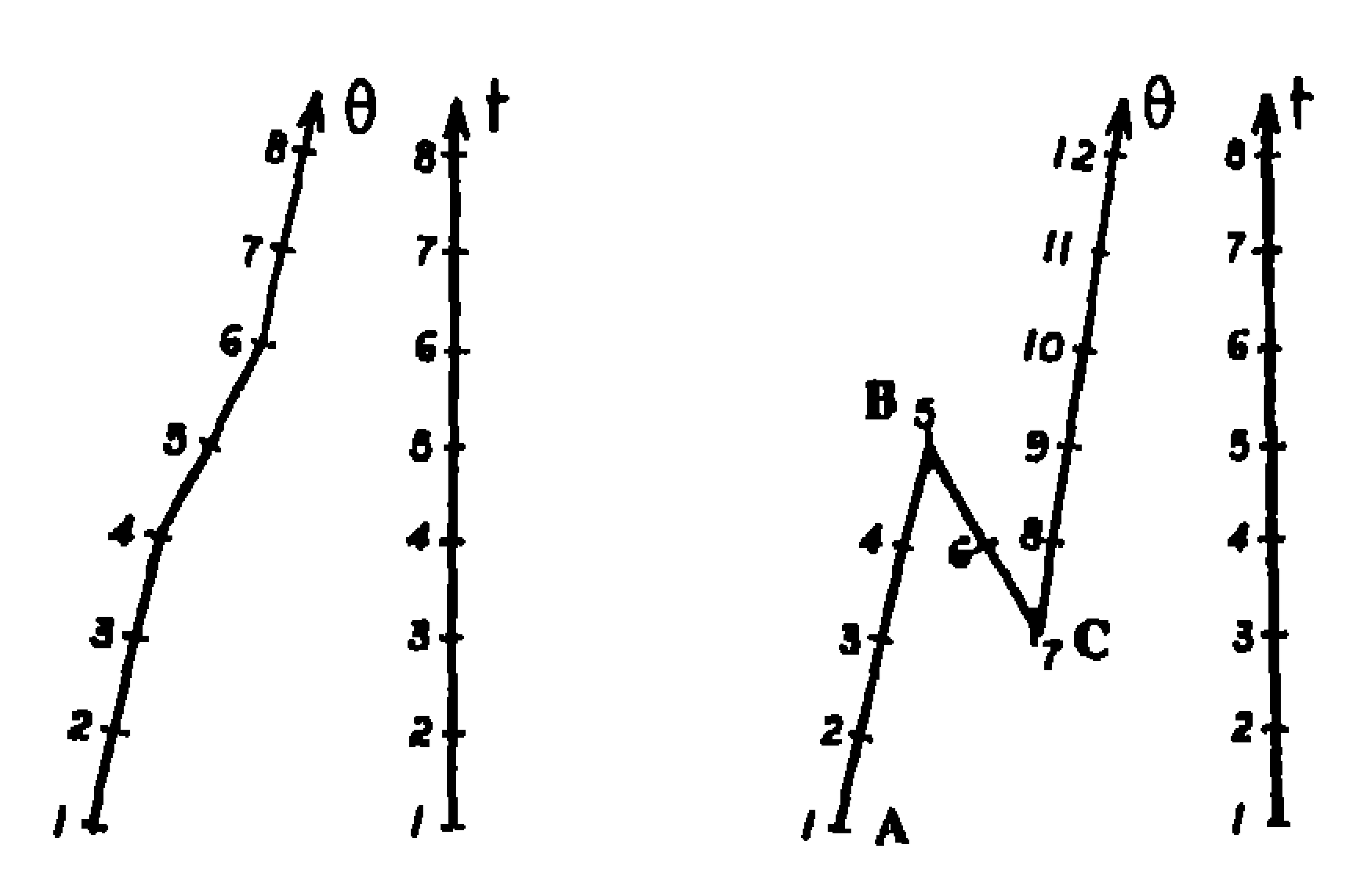
لوديرس و ولفغانغ بولي نظرية تثبت، على أساس فرضيات جدّ عامة، وجود تناظر إجمالي في **الطبيعة**، يدعى «تناظر CPT». هذا التناظر يعني أن تطبيق العمليات الثلاث التالية على منظومة ما، بترتيب ما، ربما يسترد منظومة قد لا تستطيع، من وجهة نظر الفيزياء، أن تكون متميزة عن الأولى:

- إبدال الجزئيات بمضادات (يُحلّ محل البروتونات مضادات البروتونات، ومحل الألكترونات بوزيترونات، ومحل الميزونات π^+ ميزونات π^-، الخ). وهذه هي العملية المدعوة عملية «الإقتران الشحني»، الممثلة عادة بالحرف «C»؛

- قلب يمين/ يسار، كما لو كنا ننظر إلى المشهد منعكساً في مرآة. وهذه هي العملية المدعوة «تعادلية». وتمثلها عادة بالحرف «P»؛

- عكس الزمان، أي نتخيل أن المشهد يراه شاهدنا ذو الذاكرة المقلوبة. وعادة ما تمثل هذه العملية بالحرف «T».

ولكي نجعل هذه التجريدات ملموسة أكثر، لنر كيف يمكن مثلاً أن يتكافأ حديثنا عن جزئيات عادية ترجع القهقرى في الزمان أو عن مضادات جزئيات تطوي الزمان في الإتجاه المألوف (فاينمان). لنفترض للحظة أنه يوجد في الطبيعة فصل بين ترتيب التتابع الزماني، الذي ندعوه t، والترتيب السببي، الذي ندعوه Θ. فالشكل ١٠ يمثل «مسار» جزيء ما.



في الشكل الواقع إلى اليسار، يجري هذا المسار طبيعياً وفق الترتيب المتزايد لثابتة (Parametre) السببية ووفق الترتيب المتزايد للتابع الزماني. والصورة البسيطة هي صورة جزيء عادي، يبقى بلا حادث من اللحظة t1 إلى اللحظة t8.

في الشكل الواقع إلى اليمين، ما عاد الترتيب السببي مطابقاً للترتيب الزماني. والمسار يمثل مسير جزيء عادي «يرجع القهقرى في الزمان» بين «الدقتين» 5 = Θ و 7 = Θ للثابتة السببية. ويمكن أيضاً أن يفسر بمراعاتنا جريان الزمان العادي؛ في النقطة 7,c= Θ (t=3)، نلاحظ نشوء زوج جزيء (الفرع الأيمن) - مضاد جزيء (الفرع الأيسر). هذا الأخير يتلاشى، في الزمان t=5، مع جزيء عادي مسارُه ممثل بالقطعة AB. على هذا الحال، هذا الشكل الذي يمثل بالنسبة للملاحظ واقعي ظاهرة نشوء وتلاشي تُشرك جزيئين ومضاد جزيء معقدة، هل ربما يمكن أن يفسر أيضاً بالنسبة للملاحظ متحرر من متهجة الزمان على أنه مسار جزيء، وحيد يتعرج في خلال الزمان.

إذا كانت النظرية CPT صالحة، فإن ظاهرة من ظواهر الطبيعة لا تكون متناظرة بالنسبة لعملية ما من العمليات الثلاث c أو p أو T لا تستطيع أن تكون متناظرة بالنسبة للزوج المتمم من العمليات، PT، C T أو CP. والحال، لقد اكتشفت في عام ١٩٦٤ ظاهرة نموذجة، فيها، من الجلي أنه لا يوجد حفاظ للتناظر CP: والأمر يتعلق بتفكك الجزيئات K ذات الحياة الطويلة، وفق النظرية CPT، نمسك والحالة هذه ثمَّ بمثال بالنسبة له ربما لا يكون لازماً أن يوجد تناظر من النموذج T، أي بعكسٍ للزمان. مع أن الظاهرة لا تخص غير بعض النماذج المحددة بدقةً لتفاعلات متبادلة بين جزئيات أولية، فربما كان ذلك يمكن أن يعني أن متهجة الزمان توجد لا في التيرموديناميك وحسب، بل وأيضاً على سوية الجزئيات الفردية.

حالة ظاهرة لاتناظرية:

تفكك الجزئيات K°

في عام ١٩٥١، كانت الجزئيات K° قد اكتشفت. لكونها ناشئة من اصطدامات الأشعة الكونية النووية بالجو، فإن لها مدة حياة خاصة تبلغ عشرة من مليار جزء الثانية فقط (بالنسبة للتشكيلة المدعوة «ذات حياة طويلة»). ومنذ أن وجدت مسرعات جزئيات، درست خصائص الميزونات K° بكثرة، وهي تتفكك بفعل تفاعل متبادل ضعيف، في معظم الأحيان إلى ثلاثة جزئيات أخف (من بين الميزونات پيس، والميزونات موس، والالكترونات والنوترينوسات). ونعرف، منذ عام ١٩٥٦، أن التفاعلات المتبادلة الضعيفة لا تخضع لا إلى تناظر عبر تكافؤ (العملية «P»)، ولا إلى تناظر عبر اقتران شحني (العملية «C»)، لكن حتى عام ١٩٦٤ كان يعتقد أنها تستجيب بالعكس للتناظر المزدوج «CP»، وبالتالي للتناظر بعكس الزمان. وكان ذلك، على ما كان يعتقد، هو السبب الذي من أجله ربما سوف لا يتفكك الميزون K° ذو الحياة الطويلة إلى ميزونين پيس، لأن النظرية تثبت أن التناظر «CP» في هذه الحالة ربما سوف لن يكون مراعى.

والحال، أن كريستونس وكرونان وفينش وتورلي الذين كانوا يدرسون في مختبر بروكهاڤن الأميركي، تفاعلات K° المتبادلة مع الهيدروجين لاحظوا أن جزءاً ضئيلاً من الميزونات K° ذات الحياة الطويلة كان في الواقع يتفكك إلى ميزونات پيس. والتفاعل المتبادل المسؤول عن تفككها لا يراعي والحالة هذه تماماً التناظر CP.

إذا لم يكن التناظر CP مراعى، حتى بقياس ضعيف (سعة الخرق في تفكك الميزونات K° ليست إلا بعض في المئة)، وإذا كانت النظرية CPT صالحة، حينذاك يجب أن يوجد أيضاً في تفكك الـK° ميكانيكية تخرق التناظر بفعل عكس الزمان.

على هذا الحال، من جراء كون واقع أنه توجد سيرورات بحيث يضعنا تفكك الميزونات K° ذات الحياة الطويلة إلى ميزونين پيس أمام المأزق (المتحارجة)

التالي: إما أن لا تكون هذه السيرورات عكوسة، لا تكون غير متأثرة باتجاه جريان الزمان، وفي هذه الحالة توفر لنا الطبيعة، على السلم الإبتدائي وبشكل مستقل عن كل إرجاع ذاتي، معياراً مطلقاً لاتجاه جريان الزمان - مع أنه ليس للظاهرة التي نحن بصددها على الأرجح أية علاقة بشيخوخة المادة التي يبلغ عنها قانون التيرموديناميك الثاني -، وإما أن لا تكون النظرية CPT مستجابة في الطبيعة، لأن فرضية ما من الفرضيات القاعدية ليست صحيحة. وإحدى هذه الفيزضيات، الأقل متانة على ما يحتمل، هي أن على المعادلة الحقلية التي تحكم تطور منظومة كوانتية أن تكون موضعية، أي أن يكون ممكناً وصف سلوك المنظومة فقط إنطلاقاً من قيم أو من حقول كوانتية في موضع المنظومة المدروسة أو في جوارها المباشر: أفلا تفتح قليلاً، الإكتشافات الأخيرة حول اللا - موضعية في الميكانيك الكوانتي الباب لخذل النظرية CPT؟ سوف يكون على المنظرين أن يردوا على هذا السؤال.

اختبارات مباشرة للتناظر الزماني

تُخيِّلت، من أجل تجريب أكثر وضوحاً في هذه المتحارجة ذات الحدين، روائز على أمل أن يوضح، بشكل مباشر أكثر، خرق محتمل للتناظر الزماني في فيزياء الجزئيات، والرائز الدقيق أكثر هو بلا شك رائز قياس «العزم الكهربائي المزدوج القطب» للنوترون. فهذا النوترون هو جزيء اجمالاً حيادي من وجهة النظر الخاصة بالشحنة الكهربائية، إلا أنه قد يستطيع أن يحتوي على شحنات كهربائية موجبة وسالبة بعدد متساوٍ، تفترق افتراقاً زهيداً بعضها بالنسبة للبعض الآخر. فإذا كان مركزا ثقل الشحن الموجبة والسالبة غير متتطابقين، فسوف يكون للنوترون عزم كهربائي مزدوج القطب غير معدوم، إلا أن التناظر عبر عكس للزمان قد لا يكون حينذاك مراعى.

فالنوترون هو منظومة ابتدائية مجهزة بتناظر دوراني، وعزمه الزاوي الباطني، أو «السپين»، يحدد اتجاهاً مميزاً في المكان ووحيداً. فالإنزياح (الإفتراق)

بين مراكز ثقل الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة، إذا ما كان موجوداً، فسوف يصبح مصفوفاً بمحاذاة هذا المحور، وعندما يكون القطب المزدوج، موضوعاً في حقل كهربائي، فإنه قد يميل إلى أن يصطف في اتجاه الحقل، ممارساً على المنظومة مزدوجة ضئيلة. والحالة هذه، ومهما كان قليلاً عدم تطابق اتجاه الحقل الكهربائي الخارجي مع اتجاه السپين، فإن المنظومة قد تتم حركة انفتال حول اتجاه الحقل الكهربائي، كخذروف (دوامة) خاضع احتمالياً لمزدوجة ضئيلة.

في مواجهة هذا المشهد، ما الذي ربما يلاحظه شاهدنا الموهوب ذاكرة مقلوبة؟ بالنسبة له ربما تتم حركة الإنفتال في اتجاه بالمقلوب، في حين أن الحقل الكهربائي الناتج من شحنة كهربائية ثابتة موضوعة على بعد ربما لا يكون قد تغير. فالحقل الكهربائي نفسه والقلب الكهربائي المزدوج نفسه يُعينان والحالة هذه مفاعيل متعاكسة بالنسبة لملاحظ سوي ولملاحظ ذي ذاكرة مقلوبة. فإذا كان النوترون مجهزاً بعزم كهربائي مزدوج القطب، فلن يكون هناك تناظر عبر عكس للزمان. ومن المفيد أن نوضح أنه خلافاً للحقل الكهربائي الذي توجده شحنة ثابتة، تكون الحقول المغناطيسية التي توجدها تيارات مقلوبة بالنسبة لملاحظ موهوب ذاكرة مقلوبة، بحيث أن لا شيء يقاوم وجود عزوم مغناطيسية للجزئيات الأولية.

وقد حققت فرق عديدة في العالم تجارب كي يوضح، بشكل بالغ الدقة، عزماً كهربائياً مزدوج القطب للنوترون محتملاً وجوده. إن النوترونات الموضوعة في حقل مغناطيسي، من جراء عزمها المغناطيسي الخاص (الذاتي)، تتم حركة انفتالية نستطيع قياس تواترها. والأمر هو أمر كشف التغير الزهيد لتواتر الإنفتال الذي ربما يكون مُحثاً بفعل عزمها الكهربائي مزدوج القطب عندما نضيف حقلاً كهربائياً إلى الحقل المغناطيسي السابق.

وتعطي آخر القياسات كحد أعلى للعزم الكهربائي مزدوج القطب للنوترون، قيمة تقل عن (١٠) ^-٢٤^ e.cm. وقيمة كهذه يبدو أنها تستبعد خرقاً للتناظر عبر عكس للزمان في حالة النوترون، في النطاق الذي نعتقد فيه أن

الكواركات التي ربما تستطيع أن تؤلف هذا الجزيء ربما ينبغي عليها أن تكون ذات أبعاد من مرتبة $(10)^{-15}$ cm وشحنة تساوي في قيمتها المطلقة $\frac{1}{3}$ أو $\frac{2}{3}$ شحنة الألكترون.

رائز مباشر آخر للتناظر عبر عكس للزمان يرتكز على البحث عن شحن مغناطيسية معزولة. وندعوها «وحيدات قطب مغناطيسية». وقد أوحى بإمكان وجودها منذ عام ١٩١١ ديراك، من أجل إصلاح تناظر معادلات ماكسويل، التي تدخل شحناً كهربائية ابتدائية، لكن ليس شحناً مغناطيسية ابتدائية. والصعوبة والأهمية تكمن في واقع أن وحيدات الأقطاب المغناطيسية، شأنها شأن ازدواجية الأقطاب الكهربائية، تخرق التناظر عبر عكس للزمان.

لنتفحص مثلاً وحيد قطب مغناطيسي موضوع أمام حلقة تيار يوجد حقلاً مغناطيسياً. فإذا كان الحقل المغناطيسي، وبالتالي التيار في الحلقة، من اتجاه مناسب، فإنه يجذب وحيد القطب، الذي يتم حركة منتظمة متسارعة في اتجاه الحقل المغناطيسي. وبالنسبة للملاحظ ذي ذاكرة مقلوبة، يكون التيار، وبالتالي الحقل المغناطيسي، مقلوبين؛ بيد أن وحيد القطب يتم دائماً صركة منتظمة متسارعة في الإتجاه السابرق، حتى لو كانت السرعة الابتدائية قد قلبت. ويكون حينذاك اتجاه الحقل المغناطيسي والتسارع الذي يخضع له. وحيد القطب في اتجاهين متعارضين، على النقيض مما يراه مراقب سوي. والتناظر عبر عكس للزمان لا يكون مراعى.

تم البحث عن وحيدات قطب مغناطيسية في أعماق البحار، وفي الأحجار القمرية وفي الأشعة الكونية، الخ، ولم يعثر عليها، رغم ملاحظة مقلقة تمت في ١٤ شباط من عام ١٩٨٢، كانت قد فسرت لبعض الوقت على أنها بصمة مرور وحيد قطب كوني عبَر حلقة سولينوئيد (ملف لولبي). وفي ذلك اليوم، سجل، في مختبر ستانغورد في الولايات المتحدة، فخٌ ذو قطب مغناطيسي وحيد، مؤلفٍ من حلقة ملف لولبي ذات ناقلية فائقة يجتازها تيار ثابت، تغيراً فجائياً في شدة التيار بقيمة تقابل اجتياز وحيد قطب مغناطيسي مستويَ الحلقة شحنته ec/2 137 (قيمة شحنة وحيدات القطب المغناطيسية التي تتوقعها النظرية)، وحيث أن التيار

ثابت مع خسارات تقريبية ناجمة عن بعض الهدر في حلقة فائقة الناقلية، ما عدا المفاعيل المغناطيسية الخارجية، فلا يمكن أن يفسر التغير في طبقة الشدة إلا على أنه نتيجة ظاهرة مغناطيسية: باجتياز وحيد قطب للحلقة وحادث طارىء غير مشروح. وهذه الملاحظة الوحيدة لم تتكرر أبداً مع ذلك، وسوف كان ينبغي أن تتكرر لو أن وحيدات القطب المغناطيسية كانت عديدة بما يكفي حتى تمنح الملاحظة بعض الإحتمال. صحيح أن وحيدات القطب المغناطيسية، حتى لو وجدت، فسوف يكون ممكناً أن تكون نادرة إلى أقصى حد. وتوحي محاجات كوسمولوجية بأن التدفق الراهن لوحيدات القطب على **الأرض** ربما يكون أقل من وحيد قطب لكل متر مربع في كل / ٠٠٠ , ١٠٠/ سنة!

* *
*

إن أهمية البحث من أجل توضيح ظواهر لا تراعي التناظر عبر عكس للزمان قد أعيد إحياؤها، في السنوات الأخيرة، بالتحديد الدقيق المتزايد للنماذج المدعوة «ذات توحيد كبير»، التي تسعى إلى أن توحد، في حالة الطاقة العالية جداً، حقول القوى النووية (تفاعل متبادل قوي)، والكهراطيسية، والضعيفة (المسؤولة عن التفكك). وفق النموذج، ينبغي أن يوجد بشكل أساسي تماثل طبيعي واستمرارية خواص بين هذه القوى الطبيعية المختلفة. وبما أننا نعرف في الوقت الحاضر أن التفاعلات المتبادلة الضعيفة لا تخضع للتناظر بالنسبة للعملية CP وأنه قد برهن مؤخراً أن ذلك كان يصح أيضاً على التفاعلات الكهراطيسية، فربما يجب أن يكون الأمر على هذا الحال بالنسبة للتفاعلات المتبادلة القوية، وبناء على التماثل المصادر عليه بين جميع التفاعلات المتبادلة النووية وعلى الانتهاك العام للتناظر CP الذي ربما يكون مرتبطاً به، فإن هذا النموذج قد توقع أيضاً أن البروتون نفسه كان يجب أن يكون غير مستقر، مع أن مدة حياته ربما يمكن أن تكون طويلة جداً: من مرتبة $(10)^{32}$ سنة أو أكثر! وقد حاولت تجارب عديدة مؤخراً إيضاح عدم الإستقرار الطبيعي للبروتون، بمراقبة عدة أمتار مكعبة من مادة مهدرجة بلا انقطاع، وقد

حققت هذه التجارب في أعماق مناجم الذهب الأكثر عمقاً أو في أنفاق متوغلة تحت تضاريس عالية، بحيث تحمي الكشاف من كل تأثير للأشعة الكونية.

وكتفكك الـ K ذي الحياة الطويلة إلى زوج پيس ربما يكون عدم استقرار البروتون بداهة جديداً غير مباشرة لخرق التناظر عبر عكس للزمان، بيد أنه لم تأت أية محاولة من هذه المحاولات بعدُ، في وقتنا الراهن، بالبرهان على عدم الإستقرار الذي نبحث عنه.

هل ربما تكون الطبيعة فعلاً غير متأثرة باتجاه جريان الزمان والنظرية **CPT** غير صالحة بدقة؟ هل ربما تكون متجهة الزمان غير مندرجة في قلب القوانين التي تحكم القوى الذرية، وفي مثل هذه الحالة ربما يكون العالم الواقعي، بما في ذلك توسعه الكوسمولوجي، معقولاً بالقدر نفسه، وقابلاً للفهم بالقدر نفسه بالنسبة لملاحظ موهوب ذاكرة بالمقلوب؟ وعلينا أن لا ننسى أن نظرية النسبية تتوقع حقاً الإمكان المناظر للتوسع، يعني التقلص، ثم انهداد **الكون** النهائي على نفسه، مفضياً إلى تفرد جديد، الـBig Cruneh **التقلص الأعظم**. يوحي لنا مبدأ التقنين (الإقتصاد) أن لا نعزو للطبيعة غير ما لا غنى عنه وأن لا نتخلى - إلا لسبب قاهر - عن الموقف الفلسفي المريح الذي وفقه نفخت الصيرورة في المادة في الزمان صفر كي تمنحها اندفاعتها، دون أن تكون هذه الإندفاعة منتمية إليها بحق. الم يرد في النصوص المقدسة أن الإنسان ولد من نفخه الروح على الصلصال؟

* * *

الفصل الثالث عشر
عمر الأشياء / ترتيب وفوضى
أنطروبيا وإعلام

كانت السماء، بالنسبة للعلماء القدماء، موضع الكمال والتناغم وانعدام قابلية الفساد. أما على **الأرض**، فقد كانت بالمقابل، تتجلى بداهة التغير والدوام الزماني. والإنسان، ما أن يغمض عينيه ويسائل وعيه (ضميره)، حتى يتحقق من وجود الزمان المُعَاش. وتعلمه التجربة اليومية، عندما يفتح عينيه، بأن الأشياء حوله تشيخ أيضاً.

والغريب في الأمر، أن تطور العلم حتى ماضٍ قريب كان من أثره عكس هذا المنظور، بجعله السماء موضع التاريخ، في حين كان الزمان يتلاشى من الفيزياء الأرضية. ويعرض لنا، تقدم الكوسمولوجيا، المؤسسة على نظرية النسبية العامة وعلى الملاحظات الفلكية، كوناً غير مستقر، لا يوجد إلا في الزمان وحالته الراهنة غير قابلة للإنفصال عن تاريخه. وعلى النقيض من ذلك، جرد تطور الفيزياء التجريبية الزمان بالتدريج من إحدى صفاته الأساسية، من الصيرورة. وقد أكمل التفسير السببي للزمان، المرتبط ببسط المكان ـ زمان النسبوي (الذي يكون فيه كل بعد مكاني وزماني في الواقع من طبيعة مكافئة) حرمان الزمان من «متجهته» (سهمه).

إن اللاعكوسية الزمانية، وقد طردت من النظريات الفيزيائية قامت بعملية رجوع سرية، بدءاً من منتصف القرن الماضي، على يد التيرمودنياميك، أو علم الآلات الحرارية.

وكان سادي كارنو قد اكتشف، في **ملاحظاته حول الإستطاعة المحركة للنار**،

أن تحول الحرارة إلى طاقة ميكانيكية كان محدوداً، في التطبيق، بفعل الإتجاه غير العكوس الذي يتم فيه نقل الحرارة بين أجسام ذات درجات حرارة مختلفة: فنقل الحرارة التلقائي يجري دائماً وحصراً من الأجسام الساخنة نحو الأجسام الباردة. وهذه الخاصة ليست وحسب النموذج المثالي، بل وعلى الأرجح أساس اللاعكوسية الزمانية بعينه. و**الأنطروپيا** هي المقدار الفيزيائي الذي يتيح تكميم هذه اللاعكوسية في علاقاتها مع انتقالات الحرارة.

انطروپيا وحرارة

إن معادلة فورييه، التي تصف انتشار الحرارة في الأوساط المتصلة (١٨١١)، تتناقض مع معادلات الميكانيك الأساسية، من حيث كونها غير عكوسية بالنسبة للزمان[١]. بيد أن هذه الخاصيته، البدهية اليوم، لم تكن قد لوحظت للوهلة الأولى، وللمعادلات الأخرى التي تصف الظواهر اللاعكوسية (معادلة فيك بالنسبة لانتشار المادة) شكل شبيه بمعادلة فورييه، بالتأكيد لأنها تعبر كلها، في نهاية المطاف، عن تبديد للطاقة بشكل حرارة، وحتى تفكك المواد المشعة يظهر في نهاية المطاف، عن تبديد للطاقة عبر تبديد حرارة، كما تؤكد ذلك الحرارة الأرضية، التي يغذيها تفكك المعادن المشعة في طبقات الكرة الأرضية العميقة.

نحن منقادون والحالة هذه إلى اعتبار لاعكوسية تدفقات الحرارة على أنها النموذج المثالي للتجليات الفيزيائية للاعكوسية الزمانية. وهذه ملاحظة هامة إذ، لو كانت صحيحة، لو كانت كل أمثلة اللاعكوسية المشاهدة في الفيزياء على سلمنا، تستطيع بالفعل أن تقترن مباشرة بتبادلات حرارة، فإن تحليل هذه السيرورات اللاعكوسية ينبغي أن يُستطاع إجراؤه بطريقة موضوعية بشكل محض، بدءاً من مقادير تيرموديناميكية كالحرارة ودرجة الحرارة، الخ. ويمكن أن تبدو هذه المقادير الأخيرة موضوعية بدرجة أقل من القياسات الأخرى المستعلمة في الفيزياء، كالكتلة والطاقة، لأنها لا تصف جزئيات فردية، بل مجموعات كبيرة من

(١) إنها تتبدل إذا بدلنا t ب $-t$؛ بعبارات أخرى، إنها ليست مصاغة إلا كي تتطبق على توقعات نحو المستقبل، ولا تعطي نتائج صحيحة إذا ما طبقناها بالمقلوب.

الجزئيات. ، ومع ذلك، تقبل الحرارة ودرجة الحرارة، في الفيزياء الإحصائية، تفسيراً من نمط تقليصي، بتعابير متوسط موضعي لطاقة هيجان (اضطراب) الجزئيات المكونة للجسم، تكفي من أجل منحها «الموضوعية» التي نحن بصددها. إن ضرورة تعريفنا بشكل موضوعي مقاديراً تيرموديناميكية تشكل مبدأ تقنين (اقتصاد) لن يكون جميع الإيبيستيمولوجين متفقين بخصوصه، لكن من المناسب أن تتم المحافظة عليه حتى تجبرنا الوقائع التجريبية، احتمالاً، على التخلي عنه.

إن لاعكوسية معادلة فورييه بالنسبة للزمان لا تعني أن قوانين الطبيعة ربما سوف تقوم، بحق، بتمييز بين الماضي والمستقبل. ببساطة، نتبين أن المنظومات التي ربما تخضع لمعادلة فورييه بعد عكس للزمان لا توجد في الطبيعة. ولدى المنظومات التي نلاحظها بالفعل، تحدث انتقالات الحرارة التلقائية دائماً من الأجسام الساخنة نحو الأجسام الباردة؛ بشكل أعم، إننا نراها دائماً «تشيخ»، ولا نراها أبداً «تستعيد فتوتها».

اختراع الأنطروبيا.

من أجل أن نفهم بشكل جيد دلالة مفهوم الأنطروبيا، الذي اخترعه الفيزيائي الألماني رودولف كلوزيوس ما بين ١٨٥٠ (إدخال المفهوم) و١٨٦٥ (إدخال التعبير المقابل)، من المفيد أن نضع أنفسنا في روح ذلك العهد.

كانت السنون التي سبقت قد استُخدمت لتوضيح قانون حفظ الطاقة العام، عبر مختلف تحولاتها (من طاقة ميكانيكية إلى حرارة، إلى طاقة كهربائية، إلى طاقة كيماوية، الخ.). وقد عبأ هذا العمل قسماً كبيراً من الجماعة العلمية الدولية (سادي كارنو، روبير ماير، جامس جول، هيرمان ڤون هيلمولتز...) ولم يكتمل بالفعل إلا منذ بعض الوقت: ويجب أن يكون النص الأكثر عمومية لقانون انحفاظ الطاقة بلا شك معزواً إلى هلمولتز في عام ١٨٤٧.

وقد طالب كلوزيوس، في عام ١٨٥٠، بحمية لمواطنه ماير بابوة قانون انحفاظ الطاقة ميكانيك-حرارة. فهو والحالة هذه متأثر بأهمية هذا المفهوم الجديد

العامة، ومفتون بانحفاظ الطاقة عبر تجلياتها وتحولاتها المختلفة. لكن إذا كانت الطاقة هي مفهوم النظرية الفيزيائية المركزي وتنحفظ، فيوجد في الطبيعة شيء ما أساسي يتملص من الصيرورة. ويندرج قانون انحفاظ الطاقة، أكثر من قوانين الإنحفاظ الأخرى أيضاً، في منظور لازماني. ونستطيع في الواقع أن نثبت أنه مرتبط ارتباطاً حميماً بدواميه قوانين الميكانيك عبر انتقال في الزمان: فالطاقة تنحفظ إذا حافظت معادلة الحركة على الشكل نفسه في تغير ما يطرأ على الجملة الزمانية المعلمية. **فالطاقة** هي الرمز الأجود لما يدوم ولا يتغير.

في مواجهة هذه الكلمة السحرية، أوجد **كلوزيوس** المقتنع بمبدأ كارنو الذي يُظهر أن الطاقة، تنحفظ بالتأكيد، بل وتتحول أيضاً، وأن هذا التحول يتم في اتجاه متميز، أوجد عن عمد، في عام ١٨٦٥، كلمة «أنطروبيا». «وقد أعلن، إنني قد صغت هذه الكلمة أنطروبيا عن قصد بحيث تقترب قدر الإمكان من كلمة طاقة، لأن لهاتين الكمتين تماثلاً كبيراً في دلالتيهما الفيزيائية حتى بدا لي مفيداً ايجاد تماثل في التسمية.». ويعني الجذر اليرناني للكلمة «تحويل»، لكنها ليست إلا إيجازاً، ويحتمل أن يكون الأفضل أن تترجم بتورية. وليس من باب القذف بذكرى كلوزيوس أن نعزو لكلمة أنطروبيا معنى **ما يتغير فعلاً عندما يعود كل شيء من حيث الظاهر مماثلاً**. ففي دورة آلة بخارية، كالآلة التي تفحصها كارنو يُقال أن الآلة قد أتمت دورة عندما يكون الحجم والضغط ودرجة حرارة البخار الذي تحتوي عليه أسطوانة الآلة، قد عادت إلى قيمتها الإبتدائية. من حيث الظاهر كل شيء عاد من جديد فأصبح مماثلاً. مع ذلك، في أثناء الدورة، انتقلت حرارة من المنبع الساخن (الموقد) إلى المنبع البارد (المكثفة). وأنطروبيا المنظومة الإجمالية (الآلة ومنابعها) تزايدت.

مرة أخرى، يمكن أن يبدو تزايد الأنطروبيا. كما عرفها كلوزيوس[1]، مثالاً خاصاً للاعكوسية، مقترنة بالتحولات الحرارية وحدها، في حين أن قانون انحفاظ

(١) $S\frac{dQ}{T}$، حيث dQ يقيس تبادلاً حرارياً ابتدائياً بين المنظومة والوسط الخارجي وT درجة الحرارة المطلقة التي يتم عندها التبادل، ويحسب التكامل من الحالة الإبتدائية المتخذة مرجعاً حتى الحالة المعتبرة، على طول السيرورة المثالية العكوسية.

الطاقة عامٌّ. وهذا خطأ مع ذلك: وكما قد قيل، تبدو جميع أمثلة اللاعكوسية الملاحظة، على الأقل في الفيزياء العيانية، على أنها مقترنة مباشرة بالتبادلات الحرارية. فلقانون كلوزيوس والحالة هذه درجة العمومية نفسها التي لقاون هيلمولتز، والأهمية الإبيستيمولوجية نفسها.

وقد نُصَّ قانون تزايد الأنطروپيا في بداءة الأمر في إطار المنظومات المعزولة المقيد، بيد أنه عُمِّم منذئذ كقانون انتاج انطروپيا موجب في كل عنصر موضعي لجملة، سواء كانت هـذه الجملة معزولة أم لا. مع ذلك، بدا بسرعة على أنه قانون ذو نظام إيپيستيمولوجي أقل وضوحاً من نظام قانون انحفاظ الطاقة. «وهو، على قول بيرغسون، أكثر قوانين الفيزياء ميتافيزيقية». وتقرن عروض التيرموديناميك الكلاسيكية قانون انحفاظ الطاقة (مبدأ أول) بقانون تزايد الأنطروپيا (قانون ثاني)، لكنها تلح أيضاً على اختلافهما نظاماً. فالقانون الأول هو قانون الطبيعة، هو انطولوجيا تعلي في الواقع شأن الطاقة إلى رتبة جوهر، بالمعنى الفلسفي لهذا التعبير. والقانون الثاني يشكل قانوناً ملاحظاتياً في علم وصفي، فهو مرتبط بالـ«شروط الحدية» الخاصة بكل مسألة مطروحة. فالقانون الثاني لا يمكن والحالة هذه أن يستنتج من القانون الأول، ولو أن لودڤيك بولتزمان أستطاع أن يثق بذلك لبعض الوقت.

ففي الواقع، كان بولتزمان، في عام ١٨٧٠، يعتقد أنه قد أثبت أن الصدمات المرنة بين الجزئيات في داخل غاز كانت تسبب لا محالة انتقال حرارة من الأجزاء الساخنة إلى الأجزاء الباردة، وبالتالي تطوراً غير عكوس كان يستطيع أن يربطه بمقدار ميكانيكي H لا يتغير، كالأنطروي، إلا في اتجاه واحد (النظرية H). لكن ما لبث أن اتضح أن برهانه كان يعتمد في الواقع، على فرضية ضمنية، وأن صلاحيته ليست مؤكدة. وهذه الفرضية المدعوة فرضية «الفوضى الجزيئية» تقبل غياب علاقة متبادلة بين سرع الجزئيات في حالة الكتلة الغازية الإبتدائية، مع أنها توجد، بداهة، في الحالة الإنتهائية بين الجزئيات التي دخلت في حالة تصادم. وتعود فرضية

الفوضى الجزيئية والحالة هذه خلسة فتقبل منذ المنطلق هذه اللاعكوسية التي ننوي برهانها.

انطروبيا، اضطراب، إعلام

أثارت نظرية بولتزمان الحيرة بين فزيائيي زمانه. كيف يكون ممكناً أن يكون تابع رتيب، يتغير دائماً في الإتجاه نفسه، في غضون الزمان، متعلقاً بمنظومة ميكانيكية، ما دامت قوانين الميكانيك التي تحكم تطوره لا تتضمن أي اتجاه تطوري متميز بالنسبة لأي من متغيرات المنظومة الديناميكية؟ كان لورد كالفن حسب الظاهر أول من شدد على حقيقة أن قوانين الميكانيك لا تمنع، بخاصة، أن نفرض أننا قد عكسنا في لحظة معينة سُرَع كل جزئيات الغاز الذي تؤكد النظرية «H» أنها تدرس تطوره. فقوانين الميكانيك تتضمن حينذاك أن يكون على حجم الغاز أن يعود فيمر تدريجياً بجميع الأوضاع التي كان قد شغلها سابقاً، كما لو كنا نسقط بالمقلوب فيلماً عن التطور الأصلي لهذه العينة. إن كل توابع متغيرات المنظومة التي كانت تتناقص في التطور الأصلي يجب أن تتزايد، والعكس بالعكس. ومن الممتنع والحالة هذه أن لا يستطيع التابع «H» أن يعرف غير تطور رتيب. إن هذا الإعتراض معلوم في هذه الأيام تحت اسم **مفارقة لوشخميدت**. «ربما سوف يكون رد نصير لبولتزمان، إذن، لنمض في ذلك، أتريدون أن تعكسوا سرعة كل جزئيات غاز؟ قوموا بذلك!» إن هذا التحدي الذي يشدد على الامتناع **العملي** لإعداد منظومات ربما تتناقص انطروبيتها تلقائياً، يلخص تماماً روح الجواب الذي عرضه في بداءة الأمر بولتزمان. كلا، لا تمنع قوانين الميكانيك أن تنقص انطروبية منظومة متروكة وشأنها. إلا أن منظومات كهذه لا توجد عادة في الطبيعة: فشروط المنظومات الواقعية البدئية هي بحيث أن أنطروبيتها تزيد.

وفي **فترة ثانية**، يتطور فكر بولتزمان ويتضح. طبعاً، لا نستطيع أن نستنتج بكل دقة قانون تزايد الأنطروبيا، بلا عكوسيته الزمانية، من قوانين الميكانيك المطبق على الصدمات المرنة بين جزئيات غاز وحدها، لأن هذه القوانين عكوسة. لكن

البرهان الذي تقدمه النظرية ليس برهاناً مطلقاً؛ فهو برهان على وجه الإحتمال. وقانون تزايد الأنطروبيا هو حقيقة إحصائية. فإذا ما أحصينا شروط حجم غاز المجهرية[1] التي تقود إلى حالة تيرموديناميكية معينة، فإننا نقتنع بسهولة بأن عدد الشروط الموافقة للتوازن التيرموديناميكي، ذي الأنطروبيا العظمى، كبير جداً إزاء العدد الموافق لأية حالة أخرى. في حضور منظومة حالتُها الإبتدائية لا توافق التوازن التيرموديناميكي، يكون احتمال أن تقترب من حالة التوازن في غضون تطورها أكبر بشكل لا مثيل له من عكس ذلك. طبعاً، من المحتمل إلى أقصى حد أيضاً أن تكون هذه المنظومة تشغل، في الماضي في النطاق الذي كانت توجد فيه قبلاً، حالة (وضعاً) قريبةً من حالة التوازن. «تبدو لي نظرية لوشخميدت أنها ذات أهمية كبيرة لأنها تظهركم هو المبدأ الثاني مرتبط بحساب الإحتمالات ارتبطاطاً حميماً في حين أن المبدأ الأول مستقل عنه كلياً»، الكلام لبولتزمان.

وفي عام ١٨٩٠، نشر پوانكاريه نظرية ميكانيكية تُعرف تحت اسم «نظرية العودة»، تعارض أيضاً النظرية H. وهي توضح أن منظومة ميكانيكية محدودة توجد في حالة معُطاة في اللحظة t سوف تعود في الغالب وإلى ما لا نهاية، في المستقبل، فتمر بهذه الحالة أو حالة قريبة من هذه الحالة قدر ما نشاء. ومن المؤكد والحالة هذه أن لا يكون باستطاعة انطروبيا المنظومة أن تزيد دائماً، لأنه سوف يكون عليها ذات يوم (وحتى في الغالب والي ما لا نهاية، في المستقبل) أن تعود فتأخذ قيمتها البدئية أو قيمة جدّ قريبة منها. وقد طور هذه المحاجة بخاصة، تلميذ يلانك الفيزيائي الشاب **زيرمولو**، الذي استعملها في عام ١٨٩٥ في مذكرة موجهة ضد النظرية H، أو على الأقل مخصصة لأن تحد مدى أهميتها بشكل غريب.

لم يتأخر رد بولتزمان. فقد لاحظ بشيء من الخشونة «إن مذكرة زيرملو تظهر

---

(١) اقترح بولتزمان، من أجل القيام بهذا الإحصاء، أن تقسم مجموعة القيم الممكنة لأوضاع وسرع كل جزيء غازي إلى قطع ذات قدّ محدود، وأن يُعَدّ (يحسب) عدد الهيئات التي تعطي المظهر الإجمالي نفسه لحجم الغاز (حجم، وضغط، وحرارة موضعية).

أن أعمالي لم تفهم». «مع ذلك علي أن أُسَرّ بهذا الإصدار على أنه البرهان الأولى على أن بحوثي سوف تستطيع أن تكون مكافأة في ألمانيا ببعض الرعاية.». بعد ذلك فصَّل من جديد تصوره الإحتمالي للأنطروبي. إن تناقص الأنطروپيا غير مستبعد، إنه وحسب جدّ بعيد الإحتمال، إذا ما اعتبرت ضخامة تعدد الحالات المجهرية، المميزة على سبيل المثال لحجم غاز، التي تنسجم مع حالة توازنه التيرموديناميكي، على النقيض من ندرة الحالات المجهرية المنسجمة مع حالة معطاة مختلفة عن التوازن. إن الزمان الوسطي للعودة إلى الحالة البدئية (أو إلى حالة تحكمياً مجاورة) متناسب مع الندرة النسبية للشروط المجهرية المقابلة، وبالتالي يكون بالأحرى أطول بمقدار ما تكون الحالة المعتبرة أكثر ابتعاداً عن حالة التوازن التيرموديناميكي. بالنسبة لمنظومات عيانية محسوسة، مثل جزيئة ـ غرامية[1] من غاز كامل تؤخذ في شروط بعيدة عن حالة التوازن (تحتمل مثلاً فرق حرارة كبير بين حجرتين متصلتين من خزان معزول حرارياً حيث هو مدفون)، فزمن العودة الوسطي هذا يتجاوز إلى حد كبير عمر **الأرض** المفترض. إن الإمكانية النظرية لمثل هذه العودة لا تحد النتيجة العملية، أي الرهان على ازدياد مستقبلي لانطروپية المنظومة.

هذه هي إجمالاً البرهنة (المحاجة) التي فصَّلها بولتزمان، تمهيداً لتفسير الأنطروپيا الإحتمالي، الأنطروپيا التي ينبغي عليها أن تقاسي المصير الذي نعرفه. ففي كثير من المسائل التي توجب تحليلاً مجهرياً، يكون تعريف الأنطروپيا الإحتمالي أسهل استعمالاً من تعريفها العياني. لكن هل يمكن أن تأتي الصدفة إلى فهم قوانين الطبعية بعناصر، إن لم تكن غير صدفة جهل؟ من يستطيع أن يقبل حرفياً ملاحظة فاينمان الساخرة، فاينمان الذي كتب في **محاضرته عن الفيزياء الإبتدائية** أن «لاعكوسية الظواهر الملاحظة فعلاً معزوة لعدد الجزيئات المعنية الكبير جداً. فلو كنا نستطيع أن نرى الجزيئات الفردية، فلن يكون باستطاعتنا أن نقرر في

(١) جزيئة ـ غرامية molecule gramme تحتوي عدد أڤوغادرو (٦×٢٣١٠) جزئياً واقعياً. وتشغل، في الشروط الطبيعية للحرارة والضغط، جزيئة غرامية من غاز كامل حجم ٢٢,٤ ليتر، وتشكل والحالة هذه وحدة عيانية ملائمة.

أي اتجاه زماني تتطور المنظومة . . . لكن إذا كنا لا نرى كل التفاصيل، فحينذاك هل يصبح الوضع واضحاً كل الوضوح»؟ ألا ينبغي علينا بالأحرى أن نجاري بوانكاريه، الذي يرى أنه، إذا كانت الصدفة تستطيع أن تساعدنا على توقع سلوك المنظومات الفيزيائية المستقبلي، فيجب أن «تكون شيئاً آخر غير الأسم الذي نسمي به جهلنا . . . »؟

لتفسير **الأنطروبيا الإحتمالي**، من وجهة نظرنا، حسنة كبرى وسيئة جدّ خطيرة. الحسنة هي أنه يشدد، عند الحاجة، على الطابع الجماعي، **العياني**، لهذا المفهوم، الذي لا معنى له بالنسبة لجزيء معزول (ما هي درجة حرارة جزي معزول؟)، بل فقط بالنسبة لمنظومات ذات درجات حرية عددها كبير[1]. والسيئة هي إعطاء الإنطباع بأن الأنطروبيا مفهوم يتعذر أن لا يكون ملطخاً بالذاتية، مفهوم ينصب على علاقاتنا بالأشياء، بدلاً من أن يكون كيفية أو مقداراً متعلقاً بالأشياء ذاتها.

أن يكون ممكناً أن تكون الأنطروبيا مفهوماً ذاتياً، بالطبع هذه الفكرة تفرض نفسها، ما دامت يُعبَّر عنها كتابع **احتمالات**. ففي نظرية بولتزمان كما في العروض الراهنة للميكانيك الإحصائي، في الواقع، يكون إحتمال حالة مُميَّزة بمتتالية معينة من قيم درجات حرية المنظومة مفترضاً **قبلياً**. ونعطي، في التمثيل الأساسي للنظرية حيث ندخل مجموعات قانونية مجهرية، بشكل تحكمي وزناً مساوياً لكل شاكلة ممكنة في مكان الأطوار، أو لكل متتالية تامة من الأعداد الكوانتية. على هذا الحال. يكون «احتمال» شاكلة عيانية للمنظومة مميزة بقيمة معطية لثابتات Paramétres كالحجم والضغط ودرجة الحرارة، متناسباً مع عدد الطرائق المختلفة لتحقيق مثل هذه الشاكلات من وجهة نظر متغيراتها المجهرية (موقع، اتجاه وكبر سرعة كل جزيء غاز مثلاً). إن قاعدة التساوي في الإحتمال **قبلياً** هذه بالنسبة لكل الشاكلات

(١) تملك منظومة مكونة من N جزئياً مادياً مستقلاً 6n درجة حرية، إذ يحتاج تمييز حالة المنظومة إلى تعيين قيمة ٣ مركبات للموقع و٣ مركبات لسرعة كل من الجزئيات.

المجهرية الممكنة للمنظومة ليس لها، على ما يبدو، من مبررات أخرى غير بساطتها وفعاليتها العملية.

نشهد، بدءاً من عمل بولتزمان حول تفسير الأنطروپيا الإحتمالي، انزلاقاً متدرجاً (في الواقع عدة تغيرات متتابعة للنماذج، كل منها تميل إلى توطيد الطابع الذاتي لهذا الكيان) ومع أن هذا الإنزلاق قد كان مستمراً في غضون النصف الأول من القرن العشرين، نستطيع أن نميز ثلاث مراحل أساسية، تقترن فيها الأنطروپيا بمفاهيم مختلفة: تلا **الإحتمالَ** مفهومُ الإضطراب (**اللانظام**)، وأخيراً مفهوم **الخسران الإعلامي**.

من المؤكد أنه يوجد توازٍ بين تزايد انطروپيا مكنظومة وفقدان النظام. فإذا كان حجم من الغاز موزعاً بين حوجلتين متصلتين يحتوي، من جهة، على غاز بارد، ومن جهة أخرى، على غاز ساخن، فإن التطور التلقائي للمنظومة يقود إلى خليط درجة حرارته موحدة: الترتيب الأولي، الذي كان الغاز «الساخن» فيه مرتباً في جهة، والغاز «البارد» في الجهة الأخرى، زال. كذلك، تنتشر نقطة حليب مضافة إلى فنجان قهوة، ويصاحب هذا الإنتشار زيادة أنطروپيا؛ في الوقت نفسه تغير «الترتيب» الأولي، الحليب من جهة، والقهوة من جهة أخرى، إلى مزيج فاقد الإنتظام. ويعود التذكير بهذا التوازي بين أنطروپيا ولا إنتظام إلى كلوزيوس نفسه. إن بولتزمان يستدعي مفهوم اللاإنتظام الجزيئي، ويعلق على فكرة «موت **الكون** الحراري»: شيئاً فشيئاً، يتحول في الكون (أوعلى الأقل في جزء هذا الكون الذي يحيط بنا، كما قال بولتزمان، ويخضع لقانون التيرموديناميك الثاني)، الساخن والبارد إلى فاتر، ويتحول النادر إلى مشترك، ويذوب اللامتجانس في المتجانس، ويتحول النظام إلى لا إنتظام. **فالعالم** والحالة هذه مقضى عليه بالتأحد تأحد (تماثل) غير منسجم مع ظهور بُنَى مرتبة لفردانيات مثل الموجودات الحية. إن هذه النهاية القيامية الغريبة، التي تصدم الإيديولوجيا الشعبية عن التقدم العلمي والتقدم الإجتماعي، شأنها شأن الفكرة الدينية الغائية تلقي الرعب في اذهان ذلك العهد وتوحي للمبسطين من الكتاب الأكثر شهرة في نهاية القرن التاسع عشر تعليقات يائسة، ظهر كتاب كاميل فلا ماريون عن **نهاية العالم** في عام ١٨٩٣.

يبدو مع ذلك أن فكرة مماثلة تامة بين انطروپيا ولا إنتظام حديثة العهد إلى حد كاف. وقد عزا تونولات إلى إيروين شرو دنغر الذي يقترح فعلاً في كتابه What is life? (١٩٤٤)، أن يتخذ كقياس للاإنتظام عكس الإحتمال التيرموديناميكي، أو الانطروپيا بعد تغيير إرشارتها، لكن التوازن ليس التماثل، ومهما كانت مغرية، مماثلة الأنطروپيا باللاإنتظام، فإنها ليست مقبولة. إن مفهوم اللاإنتظام، كما شدد على ذلك بخاصة پيتر لاندسبيرغ، هو مفهوم تكثيفي في حين أن الأنطروپيا هي مفهوم تمديدي (على مجموعة المنظومتين المتماثلتين أن يكون لها درجة اللاإنتظام ذاتها التي لكل منهما إذا ما أخذت على انفراد، في حين أن أنطروپيا المنظومة الإجمالية تساوي ضعف أنطروپيا كل من المنظومتين الأوليتين). حتى أننا نستطيع أن نتصور، والتطوير الحديث العهد لفيزياء السيرورات اللاعكوسة برهن ذلك بإسهاب، حالات فيها تتزايد الأنطروپيا، مع أن تطور المنظومة يترافق مع ظهور نظام (ترتيب): تقدم البلورات في محلول زائد الإشباع مثالاً على ذلك.

إن **المرحلة الثالثة** للتطور نحو قانون للأنطروپيا ذاتي تتنضد بشكل كبير على المرحلة السابقة من وجهة النظر التاريخية. وهي تتعلق بمماثلة مفهوم الأنطروپيا بمفهوم الخسران الإعلامي. وترجع فكرة وجود علاقة بين هذين المفهومين إلى ماكسويل. فقد تصور في عام ١٨٧٢ شيطاناً مجهرياً صغيراً، كان تدخله يتيح حسب رأيه نفي المبدأ الثاني. فهذا الشيطان، عندما يكون موضوعاً على مدخل ثقب الإتصال بين حوجلتين تحتويان على غاز ذي حرارة درجتها موحدة (منتظمة)، ينخب الجزئيات حسب سرعتها، مثلاً، لا يسمح إلا بمرور الجزئيات السريعة من الخزان الأيمن إلى الخزان الأيسر، والجزئيات البطيئة في الإتجاه المعاكس. على هذا الحال، يحدث اختلافاً في درجة الحرارة بين جزئي الخزان الذي كان أولاً في حالة توازن حراري، الأمر الذي يناقض مبدأ كارنو. وقد علق بولتزمان أيضاً على القرابة بين ازدياد الأنطروپيا ونقصان الإعلام. وفي أعوام ١٩٣٠، كان المنظر ريشارد تولمان والرياضي إيميل بوريل والفيزيائي ليُو سزيلارد، من بين أولئك الذين أولوا الإنتباه الأكبر للعلاقات بين المفهومين. لكن فقط في غداة الحرب العالمية

الثانية اقترح كلود شانون مماثلة المفهومين في مولفه المعنون The mathematical theory of communication . أخيراً، نص ليون بريوين، في عام ١٩٤٨، «مبدأ كارنو معمم» يوضح أن ليس وحسب مقضي على أنطروپيا منظومة معزولة أن تزيد، بل أيضاً إن الأنطروپيا **المصغرة** (المنقصة) للإعلام المكتسب من المنظومة هي نفسها مقضي عليها بأن تزيد. إن وحدة الإعلام التي أدخلها يُعبَّر عنها على أنها $Kln_2 I$، حيث K ثابت بولتزمان، وI الإعلام المعبَّر عنه بالـ«bits»، المقابلة للعدد الأصغري للإشارات الثنائية التي بها يمكن أن يُعَبر عنه، وبحضور الثابت K، يكون له بعد الأنطروپيا نفسه[1].

بهذا الشكل نجد أن الأنطروپيا والإعلام يتعارضان ويتحاذفان واحدهما من الآخر. نستطيع أن نقتنع بالفعل، من جهة، أن كل **إعلام** مكتسب في غضون قياس فيزيائي يكون معوضاً بإنتاج مصاحب لانطروپيا كميتها تساوي على الأقل كمية الإعلام المكتسب (ويقول بريّون مقدرة كعملة باستهلاك كمية **انتفاء أنطروپيا** مساوية على الأقل)، ومن جهة أخرى، أن كل إعلام مكتسب من منظومة يكافيء إمكان إبلاغ هذه المنظومة حالة أكثر تنظيماً، ذات أنطروپيا أقل. في هذه الحالة، يكون خفض الأنطروپيا يساوي على الأكثر هذا الإعلام. مثلاً، يحتاج شيطان ماكسويل، من أجل نخب الجزيئات، أولاً أن يراها، أي أن يستعمل منبعاً ضوئياً درجة حرارته المميزة يجب أن تكون أعلى من درجة الحرارة في المحيط، بيد أن النور المنتشر على الجزئيات التي يضيئها ينتهي به الأمر بأن يفقد حرارة، وانخفاض درجة الحرارة هذا يسبب زيادة أنطروپيا. ونستطيع أن نثبت أن الاعلام الذي تم الحصول عليه من سرعة الجزيئات والنظام الذي أوجده نخبها يساويان على الأكثر انتفاء الأنطروپيا المستهلك. إن هذا الإمكان المزدوج لاستعمال انتفاء الأنطروپيا من أجل إيجاد الإعلام، وأن يعاد بعدئذ ايجاد انتفاء الأنطروپيا بواسطة هذا الإعلام (في حدود الصرف الأولي) عام تماماً.

---

(١) قانون بولتزمان $S = K \log W$ حيث S ترمز للأنطروپيا، K ثابت بولتزمان، وترمز W لعدد البُنى (التركيبات). ln2 لغاريتم و log لغاريتم.

إن ملكة الإنسان الخاصة في التأثير على المادة كي ينظمها هو موضوع خلاف هنا. ونحقق في الحياة الإعتيادية ما يتمه شيطان ماكسويل على السلم المجهري. وتتوقف فعالية إرادتنا بالتأكيد على الإعلام الذي نملكه مقدماً عن المادة التي يجب تنظيمها. ودرجة الإنتظام أو إيجاد انتفاء الأنطروپيا الذي نستطيع الحصول عليه تكون دائماً أقل من كمية انتفاء الأنطروپيا الذي وجب صرفه من أجل الحصول على هذا الإعلام المقدم.

إن بريّوين يبدو بهذا الشكل أنه أقام تكافؤاً بين الأنطروپيا والإعلام. صحيح أننا باستذكارنا نصاً مكتوباً نستطيع بعدئذ أن نعيد إنتاجه، حتى لو تلفت النسخة الأصلية. فاستطاعتنا التنظيمية تيتح لنا أن نوجد نظاماً، حيث يسود اللاإنتظام. ومبدأ بريّون يعين مثل هذه الإستطاعة. في النهاية، إن الإعلام هو وسيلة لخزن انتفاء الأنطروپيا الجاهز، من أجل استعماله بعدئذ حسبما يوافقنا. إنه يتيح أن ننقص مؤقتاً لائحة تزايد الأنطروپيا، لكن مع ذلك دون عكسها.

إعلام، إرادة، ذاكرة، ملكة تنظيمية هل هي حتى من أجل هذا من طبيعة الأنطروپيا وپيا نفسها؟ أن نسلم بذلك يكافىء أن نتخلى عن إعطاء قانون موضوعي لهذه الأنطروپيا يجب أن لا ننسى أن مماثلة الإعلام وانتفاء الأنطروپيا أعتمدت في منطلقها على تفسير ذاتي للإحتمالات، على القرار الكيفي ظاهراً بإعطاء فرص متساوية لجميع الشاكلات المجهرية الممكنة لمنظومة ذات طاقة معينة. في الفيزياء، تكون فعالية مثل هذه «الحصيلة» جدّ خافية: إنها تذكر، بالنسبة لـ لو كانت دي نوي، براعات الشعبذة التي كان يسحره بها المشعوذون أيام طفولته. «تعلمت، بعذ ذاك، أن القبعة كانت ذات بطانة مزدوجة، وأن الأرنب كان يوجد قبلاً في القبعة، أو في مخبأ معد في الطاولة، لكنني لم أفهم بعد «مهارة» القوانين الإحصائية. . . ». فالمماثلة بين انتقاء الأنطروپيا والإعلام تفتح فوق ذلك الباب لاستنتاجات صعب قبولها من وجهة نظرا لتيرموديناميك الدقيقة: هل سوف تعزى أنطروپيا مختلفة للعبتي ورق خلط فيهما الورق في الشروط نفسها، حسبما تكون إحدى اللعبتين تحتوي أو لا تحتوي على تعاقبات أوراق لعب مرموقة، أو حسبما يكون اللاعب قد أخذ أو لم يأخذ علماً بهذه النتيجة؟ وليس والحالة هذه أمراً مبالغاً

فيه أن نقول أن مبدأ بريّوي، الذي يخلط الأنطروپيا والإعلام، يمضي إلى ما يتجاوز غرضه. وربما نستطيع والحالة هذه أن نعيد كتابة هذا المبدأ بطريقة أخرى، لا تجعل يظهر من الكميات غير كميات متجانسة.

$$\Delta S \geq \Delta S - \Delta \$ \geq O$$

حيث $ تمثل ببساطة كامن انتفاء الأنطروپيا «المادي» الذي يظهر في مكان ما من دماغ العامل المدبر إثر تعديلات كيميا فيزيائية لجزء من جملته العصبية المركزية، في الوقت الذي يعي فيه نتيجة قياس أو معلومة، وليس هذه المعلومة الذاتية نفسها، إذا فهم بأن $ تأخذ قيمة قريبة من $K\ Log_2\ I$ كما كان يريد ذلك بريّوين، لكن في شروط حدية لا تزال بحاجة إلى أن تحلل.

تزايد الأنطروپيا في الظواهر المألوفة هل له أصل كوني؟

برهنت أعمال بولتزمان الطليعية أن قانون تزايد الأنطروپيا قانون إحصائي، صالح حصراً من أجل المنظومات الكبيرة، أو الأفضل أيضاً من أجل مجموعات منظومات. فالمراد والحالة هذه تأسيس تفسير للأنطروپيا إحصائي وموضوعي معاً. ويبدو أن خطوة في هذا الإتجاه قد أتمها مؤخراً الفيزيائي الأميركي داڤيد ليِّرز، الذي اقترح ربط خواص الأنطروپيا الإحصائية بخواص الفوضى الكوسمولوجية. وسوف نستطيع هذه الفكرة التي لا تزال غامضة، بلا شك، أن تتحدد بدقة في مستقبل قريب، كلما استطعنا أن نعرف بشكل أفضل الميكانيكيات الإجمالية لأصل تكون الكون وللتوسع الكوسمولوجي. وهي ليست مع ذلك فكرة جديدة: وبدايتها يمكن أن تكون مقرونة باسم إيميل بوريل، من ناحية النظرية الرياضية، وباسم أرتور إيدِّينغتون، من ناحية الكوسولوجيا.

إنها تعتمد أول ما تعتمد على التحليل النقدي لتابع شيطان ماكسويل. فهذا الشيطان يستطيع، وهو ينخب جزئيات الغاز، أن يستفيد من اللاتجانسات الموضعية في سرع الجزيئات، وهي لاتجانسات غير ممكنة ملاحظتها على سلمنا. ما عدا ذلك، إنه يعمل على سلمه المجهري تماماً كما نستطيع أن نفعل ذلك على سلمنا،

ونحن ننخب مثلاً كرات تنس. ويبدو والحالة هذه تزايد الأنطروبيا في مثال الخليط بواسطة انتشار الغاز بين حوجلنين درجتا حرارتهما مختلفتان على أنه مسألة تغير في سلم الإعلام. لنعده بالطريقة نفسها، إلى مثال تبدد نقطة حليب في القهوة. إجمالاً، يوجد فعلاً، على سلمنا، ضياع إعلامي: ففي القهوة بالحليب لا نعود نستطيع التمييز بين مكوني المزيج. بيد أن عضوية ضئيلة قد تعيش في القهوة ربما تلاحظ انفصال نقطة الحليب إلى كريات ضئيلة، وربما تتابع تمييز هذه الكريات عن القهوة المحيطة. وربما سوف يوجد دائماً إمكان القيام بفصل بين مكوني المزيج: وربما سوف يكون الحجم الكلي للكريات من جهة أخرى مساوياً بكل دقة حجم نقطة الحليب الأولية. فالمعلومة لم تتغير. ولا يحصل أن تتغير المعلومة الضرورية لوصف الملاحظة، إلا عندما نكتفي بوصف تقريبي، مؤسس على مفهوم ذاتي ظاهراً إجمالي. فالمعلومة والحالة هذه تتعلق بسلم ملاءمة الوصف. طبعاً، إن تغير السلم هذا هو أيضاً، في ذاته، ظاهرة صعب تحيلها بعبارات موضوعية: أين سوف يوضع الحد بين العالم العياني، حيث المعلومة فيه سهلة المنال، وحتى قابلة للإستعمال لغايات تنظيمية، والعالم المجهري، حيث المعلومة فيه ربما سوف تكون صعبة المنال؟ عل يتعلق هذا الحد باستطاعة أجهزة البحث التي نتمتع بها؟

إذا ما استعدنا عبارات بوريل، فإن تزايد الأنطروبيا يترجم والحالة هذه ميلاً لدى **الكون** نحو حالة بنيتها تستدق أكثر فأكثر: «إن تطور **الكون** ربما يستطاع بهذا الشكل أن يكون متصوراً على أنه ميال لانتاج حالة أكثر فأكثر تعيقداً وغير ممكن أن تكون مدركة ومستعملة إلا من قبل موجودات أكثر فأكثر ضآلة».

إن السيرورة الوحيدة لايجاد أنطرويا موضوعية فعلاً، إذا ما وجدت، سوف ينبغي والحالة هذه أن تكون مقترنة بغياب اعلامي تام، وليس بتحويل الإعلام إلى سلم أصغر بالمثل، إن السيرورة الوحيدة لايجاد انتفاء انطرويا ربما يكون فعلاً موضوعياً قد ينبغي أن يكون مقترناً بظهور مطلق لكمية إعلام، وليس بتغيير سلمه.

ربما يستطيع الكون أن يكون حقاً منبع الإعلام الموضوعي هذا. حسب رأي ليّزر، توجد فيه قيد العمل ميكانيكية انتاج موضوعي لانتفاء الأنطروپيا، بالذات من جراء التوسع الكوسمولوجي كما نفهمه الآن بواسطة النسبية العامة، إلا أن مثل هذا التأكيد غير صحيح إلا في إطار نموذج تحدد، يخضع للـ «مبدأ الكوسمولوجي القوي». فحسب هذا المبدأ، ينتج توزع المادة والطاقة في داخل **الكون** من محض صدفة ولا يظهر لا موضعاً ولا اتجاهاً متميزاً. وليست الشذوذات الموضعية، كالمجرات والنجوم التي تكونها، على السلم **الكوني**، غير انحرافات (توجات)، تعكس بلا شك الانحرافات الأساسية ذات الأصل الكوانتي التي حكمت ظهور المادة، في البدايات الأولي للحظات الـ Big Bang الأولى. ومن طبيعة هذه الإنحرافات أنها تفلت من كل حتمية، والمادة التي تشكل اليوم الكون ربما تستطيع والحالة هذه أن تخضع لهذا المبدأ الإحصائي. أخيراً، النموذج يرتضي أن يكون **الكون** دون حدود. وبالفعل، حسب نظرية النسبية العامة، ربما يمكن أن يكون **الكون** ضمن بعض الشروط، أن يكون محدوداً لكن غير متناهٍ، بالمعنى الحقيقي لهذه العبارة. في هذه الحالة ربما سوف لن يوحد لا فصلٌ بين جزء مأهول وجزء خاوٍ، ولا «مركز»، ولا أي موضع آخر مميز وإذا ما عدنا إلى الصورة المكرسة، فربما سوف سكون كسطح كرة، وربما سوف نستطيع والحالة هذه أن نجوبُه بلا نهاية، دون أن نصادف أبداً حداً.

في إطار هذا النموذج، لا يوجد والحالة هذه ترتيب موضوعي في الكون الإجمالي، ووصفه الموضوعي، حتى لو كان جزيئاً، يكون ممتنعاً. وربما سوف يكون مثلاً أمراً وهمياً أن تريد أن نصف موضوعياً موقع المنظومة الشمسية في الكون، إذ يوجدُ بالتأكيد في عشرات الآلاف في المجرات تعددية منظومات كوكبية تستجيب للوصف نفسه، مهما كان مفصلاً.

باختصار، نستبعد فرضية ليّزر إمكان إعلام أو نظام موضوعي في الكون على سلم الوصف هذا. وكل ظهور لنظام (ترتيب)، أو لانتفاء أنطروپيا، على

سلم أدنى يكون والحالة هذه **بدعة** (خلق). وخلق انتفاء أنطروپيا وحده على مسلم أدنى، إذا وجد، يمكن أن يكون مدعواً موضوعياً.

تتدخل مرحلتا توسع **الكون** في الميكانيكية المطروحة من خلق موضعي لانتفاء أنطروپيا: **ابتراد** المادة والضوء، **والإنهداد** الثقالي لغيوم مادية باردة. ويشرح الابتراد الذي يرافق توسع المكان لماذا لم تعد درجة الحرارة المميزة لإشعاع قاع السماء، التي هي أثر أحفوري لكون مركّز وساخن، في هذه الأيام غير 2,7 K (درجة حرارة مطلقة). بيد أن هذا الإبتراد يؤثر بشكل مختلف على الفوتونات، المجردة من الكتلة، والجزيئات المادية. فدرجة حرارة الفوتونات تنقص كنقصان R^{-1}، حيث R ثابتة harametre مميزة يمكن أن تكون مدعوة نصف قطر **الكون**، في حين أن درجة حرارة الجزيئات تنقص كنقصان R^{-2}. على هذا الحال، هي إن منبع انتفاء أنطروپيا دائم قد خلق، والتدفق المقابل ينشأ بفضل سيرورات تزاوج المادة والإشعاع. من بين هذه السيرورات، الانهدادات الثقالية لجزيئات مادية باردة، مثيرة إعادة تسخين غيرم غازية وتكثيفها فتغدو نجوماً، تلعب دوراً مركزياً. إنها باتاحتها تشكل **الشمس**، منحت المحيط الحيوي والإنسانية انتفاء الأنطروپيا الذي تحتاج إليه من أجل البقاء «إن نضال الموجودات الحية العاتم من أجل الوجود ليس نضالاً من أجل المواد الأولية - أي، بالنسبة للعضويات، الهواء والماء، والتراب، وهي مواد كلها جاهزة بوفرة - ولا من أجل الطاقة التي توجد برفوة زائدة في أي جسم بشكل حرارة (ولو كانت مع الأسف غير قابلة للتحويل)»، هذا ما كان يكتبه قبلاً بولتزمان منذ أكثر من مئتي سنة، «بل نضالاً من أجل الأنطروپيا، التي لم تغد جاهزة إلا عبر انتقال الطاقة من **الشمس** الساخنة إلى **الأرض** الباردة.

وتبعاً للفرضيات المعروضة، بقي أن نفهم بشكل أدق الصلة بين ازدياد الأنطروپيا في الظواهر على أصغر سلم والسيرورة الكوسمية المؤسسة.

لنتذكر أولاً أن ظاهرة تزايد الأنطروپيا تتعلق بالجماعي. فذرة، حتى لو كانت مشعة، لا عمر لها: إنها تملك دائماً الإحتمال نفسه في أن توجد في الدقيقة

التالية. بالمقابل، إن مجموعة ذارت مشعة، عينه من المادة المشعة، تيتح بناء ميقاتية تيرمودنياميكية. وكلما زادت كتلة العينة، كلما زادت دقة الميقاتية. فالمدة (الزمان) التيرموديناميكية، تبدو والحالة هذه مبثوثة في المادة مع إمكان تحديد دقيق يتعلق بعدّ العينة المدروسة. وقد اقترح داڤيد بوهم عبارة «ذو نظام مترع» من أجل الدلالة على مثل هذه الحالات، التي يكون فيها نظام خارجي مبثوثاً في المادة. ويوحي من ذلك مماثلة: الترتيب الزماني ربما يكون مبثوثاً في المادة كالترتيب الهندسي لسطح شيء في صفيحة هولوغرام فوتوغرافية.

في هولوغرام، نجد أن صورة التداخل، المعقدة جداً، والمكونة بواسطة حزمتي ليزر كانت إحداهما قد انفرجت على سطح الجسم، تتعلق في كل نقطة بشكله الإجمالي. وهذا الترتيب الخارجي لا يظهر لدى فحص الصفيحة الفوتوغرافية في الإضاءة العادية؛ وبالمقابل نجد أنه يكون قابلاً لأن يكون محسوساً مباشرة عندما ننظر إلى الهولوغرام بواسطة ليزر تواترة كتواتر الليزر الذي استعمل لرسمه عينه. حينذاك نرى الشكل الهندسي يظهر وحتى مجسم الجسم المصور فوتوغرافياً. ويجي أن نلاحظ أن تفاصيل هذا الشكل ودقة إعادة التجسيمات (النوافر تتعلق بقدّ جزء الهولوغرام المضاء بالليزر. وإذا ما قلصنا المنطقة المضاءة، فإن الجسم يظهر أيضاً بأكمله، لكن بدقة أقل.

في **الكون**، تكون البنية الخارجية هي المدة الكوسمولوجية، المتجهة (السهم) التي يمنحها التوسع العام للزمان؛ إن الحامل «الهولوغرافي» الذي يكون هذا الترتيب «منضداً» عليه هو المادة التي يحتوي عليها. فوفق هذه المماثلة، ربما تكون متجهة الزمان منعكسة، ومبثوثة، ومترجمة في المادة على سوية الظواهر العيانية من جانب قانون تزايد الأنطروپيا، بدقة تكون بالأحرى أكبر كلما كانت المنظومة المعتبرة أكبر.

إن مقل هذا التحليل يوحي بوجود مزاوجة بين «المنظومات الصغيرة» **والكون**. وقد سبق أن ذكر بهذه المزاوجة إدينغتون الذي سبق أن كان يعبر في عام

١٩٣٥ عن فكرة مفادها تزايد الأنطروپيا في الظواهر على سلمنا ربما يمكن أن يكون مرتبطاً بالتوسع الكوسمولوجي. ولم تتضح ميكانيكية بعد، بيد أن الخلاصة المحتملة هي أن يكون تزايد الأنطروپيا في المنظومات الواقعية يجري عادة على مرحلتين. أولاً مرحلة «ذاتية»، فيها تكون مرتبطة بتغير سلم الإعلام الجاهز على المنظومة، التي تنتقل بالتدريج من السلم العياني (نقطة حليب مثلاً) إلى السلم المجهري (كريات)؛ في هذه المرحلة، ما سوف يكون مدركاً من قبل ملاحظ عديم المهارة على أنه تزايد أنطروپيا سوف يمكن أن يكون معتبراً على أنه سيرورة متساوية الأنطروپيا من قبل ملاحظ مجهز بأدوات أكثر دقة. وفي مرحلة ثانية، ينحل الإعلام المجهري ويزول، عبر تشوشات المنظومة الضعيفة التي يحرضها باقي الكون. والخلاصة التي وفقها تكون الأنطروپيا قد زادت تصبح حينذاك عامة ومؤسسة موضوعياً.

ما قوام هذه التشوشات الضعيفة التي تزواج كل منظومة مع باقي **الكون**؟ هل تلعب الثقالة هنا دوراً حاسماً؟ سبق أن كان ذلك رأي بوريل، الذي كان يدعو إلى ملاحظة أن تغير الكمون الثقالي الذي يسببه انتقال قدره سنتمتر لغرام مادي موضوع على مسافة كمسافة **سيريوس** ربما يشوه بشكل جذري، في أقل من ميكروثانية، الحالة الكهرية لحجم غازي في في مختبر أرضي. في حالة النظرية الراهنة، لا يزال الوقت مبكراً جداً من أجل البت في هذا الأمر.

* *
*

هكذا، ربما يمكن أن تتعلق صعوبة النقاش حول موضوعية تزايد الأنطروپيا فقط بواقع أننا قد أهملنا حتى الآن التمييز بين مرحلتين متتابعتين، إحداهما انطروپومورفولوجية والأخرى كوسمولوجية وموضوعية. والموضوعية النهائية لتزايد الأنطروپيا ربما تتعلق بزوال الإعلام النهائي من جراء خواص للكوسموس فوضوية بالمعنى الدقيق. ولسنا مع ذلك متأكدين من ذلك كلياً، ونحن لا نزال نجهل

الكثير عن ميكانيكيات المزاوجة المسؤولة عن الزمان (الدوام). إلا أننا على ما يحتمل على أهبة توضيحات كبرى، على أهبة أن نسرق سر الزمان هذا من الطبيعة. والمفتاح الذي بحث عنه بولتزمان بلا جدوى خلال زمان جدّ طويل، إلى درجة أن يأسة أسهم في اكتئابه القاتل للنفس، كان على ما يحتمل مخبأ جيداً فيما وراء السحب.. في انزياح السدم نحو الأحمر، الذي لم يكتشف إلا بعد مضي عشرين سنة، وفي الفوضى البدئية، التي لا نعرفها بعدُ معرفة تامة.

* * *

الفصل الرابع عشر

بُنَى تبديدية، تفاعلات دورية

في غضون هذا القرن، طُورت التيرموديناميكا من أجل مقاربة دراسة السلوك الديناميكي للمنظومات خارج - حالة التوازن. وقد تم التمييز بين نظامين: المنظومات القريبة من حالة التوازن، عندما لا تكون الإقسارات التي تمنعها من بلوغ هذه الحالة جدّ كبيرة، والأوضاع حيث، على العكس، تكون المنظومات مُبقاة بعيدة بعداً كافياً عن حالة التوازن حتى تظهر فيها لا - خطيات - بخاصة حلقات مفعول ارتجاعي -. وهذه الحالة الأخيرة مثيرة للاهتمام بشكل خاص، من حيث أن النظرية (التي طورها بخاصة بريغوجين ومدرسة بروكسل) تُظهر كيف أنه، حتى في التماس منظومات من أجل الاستدارة أو البقاء في الحالة الأقرب قدر الإمكان من حالة التوازن، تستطيع هذه المنظومات أن تكتسب وتُبقي على بُنى مرموقة. من أجل ذلك يكون أمراً أساسياً أن تتبادل تدفقاً أنطروپيا مع الخارج، وغالباً ما يكون من باب أولى جسامة كلما كانت درجة تنظيمها تضعها في حالة أكثر بعداً عن حالة توازنها. أمثلة بسيطة عن مثل هذه المنظومات - تدعى منظومات مبددة - قد درست على المستويات سواء النظرية منها والتجريبية، خاصة في الكيمياء. وتظهر فيها انتظامات مكانية (مواضيع مرتبة) أو تراجعات زمانية (دارات) في معظم الأحيان. وتوفر هذه المنظومات نموذجاً من أجل فهم كيف أن المنظومات اللا - خطية صراحة، في الوقت الذي تخضع فيه لقوانين الالكترموديناميكا - بخاصة لقانون تزايد الأنطروپيا - تستطيع على غرار العضويات الحية أن تنبني وأن تبقى في الحالة نفسها.

تنمية تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة

نمى كلوزيوس وبولتزمان وجيبس ونظَّروا تيرموديناميكا تصف بخاصة حالة التوازن التي تتناهى إليها كل المنظومات الفيزيائية. ولأجل توسيع النظرية لتشمل وصف المنظومات عند تأملها في حالة تختلف عن حالة التوازن، اقترح جيل التيرموديناميكيين التالي (كوستانتان كاراتيودوري وبِيير دوهيم وتَيوفيل دي دوندير وكورس أونساجير وإَليا بريغوجين) أولاً تعميم قانون كلوزيوس - كارنو الذي يعبر عن حتمية تزايد الأنطروبيا في منظومات معزولة. من أجل ذلك، ميزوا بين إسهامين في لائحة الأنطروبي للمنظومات غير المعزولة: الأنطروبيا الناشئة داخل المنظومة وتدفق الأنطروبيا عبر غلاف المنظومة (من هذه المنظومة نحو الخارج أو العكس). وحسب حدس كلوزيوس، تكون السيرورات اللاعكوسة مميزة بمنبع موضعي موجب للأنطروبيا، في حين تكون السيرورات اللاعكوسة مميزة بمنبع موضعي معدوم. ويكتب قانون كلوزيوس - كارنو المعمم والحالة هذه في صيغة $ds = dis + des$ حيث تمثل $di\ s \geq o$ المنبع اللموضعي، وَ $de\ s$ التدفق الخارجي.

بالنسبة للمنظومات المعزولة، يكون هذا المبدأ الجديد مكافئاً للمبدأ القديم، لأن حدَّ التدفق، نحو أو من الخارج، يكون حينذاك معدوماً، بحيث تؤول المعادلة السابقة إلى: $ds \geq o$..

أضف إلى ذلك، أن تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة تستند إلى الفرضية التي يقال لها «فرضية التوازن الموضعي»، التي وفقها يمكن أن تكون كل منظومة خارج حالة التوازن مقسمة إلى منظومات جزيئة بدائية، بحيث تستطيع كل واحدة منها أن تكون مؤقتاً معتبرة على أنها في حالة توازن. ونستطيع حينذاك أن نطبق على سوية هذه المنظومات الجزيئة قوانين التيرموديناميكا الكلاسيكية. ونستطيع بفضل هذه الفرضية أن نحسب قيمة التوابع التيرموديناميكية (بخاصة الأنطروبيا) للمنظومة بأكملها، حتى لو لم تكن هذه المنظومة بشكل واضح في حالة

توازن. وفرضية التوازن الموضعي هذه ليست مع ذلك صالحة من أجل وصف الظواهر الأكثر عنفاً، كتلك التي تتضمن تشكل وانتشار أمواج اصطدامية، الخ. : غير أنها تقدم خدمات كبرى من أجل وصف الحالات المألوفة للا ـ توزان.

في فترة أولى، طورت النظرية وطبقت على الحالات المستقرة القريبة من حالة التوازن. ففي هذه الحالة تأخذ الأنطروپيا القيمة الكبيرة إلى أعظم حد ممكن وتظل ثابتة في غضون الزمان، بحيث أن نسبة انتاج الأنطروپيا تكون معدومة. ويُبرهن أن المنظومات التي بالنسبة لها تحول الإقسارات المفروضة دون توطد حالة الإستقرار، لكنها تستطيع مع ذلك الإقتراب منها بما يكفي، ذات نسبة إنتاج انطروپيا تأخذ القيمة الصغرى المنسجمة مع هذه الإقسارات. وهذه هي **نظرية انتاج الأنطروپيا الصغرى** (پريغوجين، دانهاي). ومجال صلاحية تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة المعرفة على هذا النحو هو مجال «التيرموديناميكا الخطية».

مع ذلك، ما دامت المنظومة تظل في حالة تختلف عن حالة التوازن، فلا يكون إنتاج الأنطروپيا أبداً معدوماً. وحالة مستقرة، خارج حالة التوازن، تعرف والحالة هذه نشاطاً داخلياً فيزيائياً ـ كيماوياً منتجاً أنطروپيا. وبما أن تابع الحالة «أنطروپيا» يظل ثابتاً، وفقاً لفكرة الحالة المستقرة ذاتها، فيجب بالضرورة أن نحصل، برجوعنا إلى قانون كلوزيوس ـ كارنو المعمم (مع كون $\frac{ds}{dt} = o$ ، لكن $\frac{dis}{dt} > o$) على $\frac{des}{dt} < o$: ويلزم تدفق انطروپيا موجهاً نحو خارج المنظومة بتعبير آخر، لا يمكن أن تُبلغ مثل هذه الحالات المستقرة بمنظومات معزولة؛ فهي تميز على العكس بالضرورة منظومات مفتوحة على الخارج، تصب فيه أنطروپيا أو، والأمرسيان، تستهلك «انتقاء انطروپيا» موجوداً في بيئتها. وهذه الملاحظة توضح بخاصة الملاحظات البيولوجية الأكثر عادية: كل منظومة بيولوجية معقدة، خارج التوازن، مقضي عليها بالانحطاط وبالموت إذا ما عزلناها.

إن الحالات المستقرة القريبة من حالة التوازن تكون حالات وطيدة، إذ أن كل فارق لمتغير يميز حالة المنظومة يقودها إلى حالة يكون بالنسبة لها إنتاج الأنطروپيا

أكبر، والمنظومة تميل تلقائياً إلى تبني الحالة المقترنة بانتاج أصغري للأنطروپيا. بهذا الشكل لا يعدل أي تشويش، يُحدث مؤقتاً في حالة مستقرة، حالتها إلا بشكل انتقالي: فمنذ أن يكون التشويش قد توقف، تستعيد المنظومة النظام الذي كان لها آنفاً. في الواقع، نستطيع أن نعتبر أن المنظومة تظل، في مجال التيرموديناميكا الخطية كله، في قطاع جذب حالة التوازن وتميل إلى أن تقترب منه أكثر ما يمكن الإقتراب. وإذا ما تراخت الإقسارات المفروضة على المنظومة والتي تمنعها من بلوغ حالة التوازن، فإن المنظومة تتطور تلقائياً وحتماً نحو حالة التوازن.

بيد أن نتيرموديناميكا حالات التوازن، والي حد كبير، تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة الخطية، لا تتوصلان إلى أن تأخذا بالحسبان بعض الملاحظات الأولية. وفي النهاية تركا دائماً الفيزيائيين وفلاسفة العلوم غير راضين. إذ في الواقع، لا نتوصل إلى أن نفهم في عالم يهمين عليه مفهوم حالة التوازن، المتيمزة هي نفسها بانطروپيا ولا ترتيب أعظمي، كيف أمكن أن تحصل «فضيحة الحياة».

إن مسألة الحياة توجد بالتأكيد في خلفية الإهتمامات التي يعلنها التيرموديناميكيون. وهذا لا يحول دون وجود ملاحظات أولية، تنتمي بلا شك إلى مجال العالم اللاحي، سبق أن غدت تتوافق توافقاً سيئاً مع التيرموديناميكا التي تم تطورها حتى الآن: فالتظاهرات التلقائية من مرتبة مكانية أوَ زمانية تصدم فكرة عالم منجذب بالمتجانس واللاترتيب، وتعين حدود التيرموديناميكا الخطية.

بعض أمثلة تفاعلات كيماوية لاخطية

عندما يكون لدينا نقطة زئبق على قاعٍ منبسط لزجاجة ماء كمونه الهيدروجيني PH كان بادىء ذي بدء قد أوصل إلى ٧، ينتج انطلاق أوكسين بإيقاع محدد، في حين تبدو النقطة بالتناوب تنتفخ وتتقلص! الأمر الذي أكسب هذه التجربة اسم «قلب بروديغ» (بروديغ وَ واينماير، ١٩٠٣). وقد لاحظ تفاعلاً آخر دورياً براي في عام ١٩١٧؛ والمقصود هو تحلل الماء المهدرج بحضور يودات

البوتاسيوم وحمض الكبريت. فالتفاعل موقَّع بواسطة تغير منتظم في تركز اليود وانطلاق الأكسجين.

إن أمثلة أخرى تعود، لا إلى نشاط إيقاعي، بل إلى بنيوية مكانية. وعندما نرسب نقطة من محلول نترات الفضة على طبقة جيلاتين مشربة بمادة بينترات البوتاسيوم، نرى حلقات متحدة المركز رائعة من راسب الفضة تظهر، مشكلة شكلاً لا يمكن إلا أن يذكرنا بحلقات نيوتن في علم الضوء، لكننا لا ننتظره بالنسبة لتفاعل كيماوي بين أجسام متجانسة تحكمها قوانين التيرموديناميكا الخطية. هذه الملاحظة كانت قد سجلها على ما يبدو للمرة الأولى ليينروغانغ، منذ عام ١٨٩٦ . مثال آخر من بين أمثلة أخرى كثيرة وفره تفاعل زابوتنسكي (١٩٦٤). يرتكز على أكسدة الحمض المالونيكي بواسطة برومات البوتاسيوم بحضور شوارد Ce^{3+} وCe^{4+}. وهذا التفاعل يسبب بنيوية مكانية في أنبوب التجريب حيث أجري: نرى في الأنبوب وعلى طول ارتفاعه طبقات بالتناوب مظلمة ومضيئة تظهر.

إن مثل هذه المنظومات لاتناقض بالضرورة قانون تزايد الأنطروپيا، بادىء بدء، كما قد سبق أن أشرنا، لا يوجد تكافؤ مطلق بين الأنطروپيا واللاترتيب. بناء على ذلك، إن ظهور ترتيب مكاني يمكن أن يترافق مع زيادة أنطروپيا في المنظومة، كما هي الحالة بالنسبة لظهور بلْورات في محلول مشبع إشباعاً زائداً. لكن، دون أن نستعيد ذكر هذا التمييز، ليس ضرورياً أن تكون المنظومات المذكَّر بها مقراً لانتاج انطروپيا سلبي، إذ أن هذه المنظومات ليست معزولة: ويمكن والحالة هذه أن نستفيد من تدفق أنطروپيا من مصدر خارجي. وهذا التدفق يمكن حتى أن يكون أعلى من التدفق الذي ربما يكون بدقة لا غنى عنه من أجل الإبقاء عليها في حالة مستقرة ومتجانسة. مثال، إن منظومة تتذبذب في الزمان يجب أن تكون ذات انطروپيا كلية على التوالي متزايدة ومتناقصة، على اتفاق مظاهر الظاهرة. بناء على ذلك، إن هذه المنظومات لا تخضع بالتأكيد لقانون انتاج الأنطروپيا الأصغري الذي وفقه ربما يكون على تدفق الأنطروپيا الخارجي أن يكون ثابتاً. وهي لاتقع والحالة هذه في مجال تطبيق التيرموديناميكا الخطية.

إن بريغوجين حقق هذا الإستنتاج بتطويره، على المستويين النظري والتجريبي، التيرموديناميكا اللاخطية للسيرورات اللاعكوسة. عندما تكون «القوى» التي تُبقي منظومة في حالة خارج التوازن ما عادت متناسبة مع «التدفقات» المشاركة التي تميل، في التيرموديناميكا الخطية، إلى تقليل إنتاج الانطروبيا، فإن حالة التوازن تكف عن أن تكون الجاذب الوحيد المستقر أو المستقر التالي metasta-ble الذي يمكن أن تبلغه المنظومة، إن كثيراً من هذه الحالات الجاذبة تظهر درجة رفيعة من التنظيم المكاني و/ أو جرياناً محدداً بإيقاعات جلية. وحالات كهذه تكون متواترة عندما تجري عدة تفاعلات كيماوية معاً داخل منظومة بعينها، بتلقيها بعضها من البعض الآخر كواشفها.

التفاعلات الكيماوية المزاوجة تستطيع توليد حلقات

صاغت **مدرسة بروكسل** نظرية سلوك منظومة مفتوحة ومعقدة دعاها بريغوجين «Brusselateur» وهي عبارة عن سلسلة خاصة من ٤ تفاعلات كيماوية مزاوجة. ويمكن إثبات أن جملة المعادلات التي تحكم السلوك الحركي لمثل هذه المنظومة تتوقع، في بعض الشروط، تغيراً دورياً في تركيز بعض النواتج المتوسطة.

وقد صنع، في فرنسا في عام ١٩٧٥، أدولف پاكولت وفريقه ميقاتية كيماوية حقيقية، ذات ميناء يدير عقاربها تفاعل كيماوي دوري جيد الإستقرار بوجه خاص. إن مثل هذه الميقاتية توضح من جديد فكرة أن قياسات الزمان يمكن أن تعتمد على صنفين متغايرين من الظواهر الفيزيائية: الظواهر التي تتعلق بالميكانيا أو بمبدأ الفعل الأصغري من جهة، وتلك التي تتعلق بالتيروموديناميكا من الجهة الأخرى.

وقد درست منذئذ أمثلة عديدة أخرى عن تفاعلات نائسة (متذبذبة) تم الحصول عليها في تفاعلات كيماوية مزاوجة، سواء على المستوى النظري أو المستوى التجريبي.

* * *

باختصار، إن النظم المستقرة أو المستقرة الكاذبة التي تبلغها منظومات تيرموديناميكية خارج حالة التوازن هي بصورة عامة حالات الحد الأدنى الموضعي لانتاج الأنطروپيا. إن تغيرات الإقسارات الخارجية الإنتقالية والإنحرافات الداخلية التي تؤثر على المنظومة، إذا لم تتجاوز قيمة حرجة معينة، يُقضى عليها بلا قيد ولا شرط دون تعديل الحالة الإجمالية للمنظومة. وإذا ما تجاوزت هذه التغيرات قيمة حرجة (قيمة عتبة تتعلق بالحالة المعتبرة)، فإن المنظومة يمكن أن تترك الحالة المستقرة ولا تعود إليها. وتستطيع حينذاك عدة حالات مستقرة جاذبة أن توجد، من أجل القيمة عينها للإقسارات الخارجية، ويمكن حينذاك أن تتوقف الحالة الخاصة التي سوف تتناهى إليها فعلاً على الانحرافات الداخلية التجريبية غير الممكنة مراقبتها.

أتاحت التيرموديناميكا اللاخطية للسيرورات اللاعكوسة فهم شروط ظهور «بُني تبديدية». وفي حالة التفاعلات الكيماوية، المقصود هو منظومات تفاعلات كيماوية مزاوجة، تطرأ في منظومات مفتوحة، وتمتلك مفاعيل تحفيزية أو تحفيزية اختبارية Cross - Catalytiques. هذه المفاعيل التحفيزية مسؤولة عن اللاخطيات بين «قوى» و «تدفقات»، بين «ألفات» و«سرع تفاعلية». يلاحظ أن الآليات الإستقلابية للموجودات الحية تكون من هذا النمط بشكل جد مألوف. وقد كتب بريغوجين حول هذا الموضوع: «هذا الطابع التحفيزي للتفاعلات الكيماوية الضرورية من أجل الإفضاء إلى عدم استقرار يكون بخاصة مثيراً للإهتمام عندما نفكر في التفاعلات الكيماحيوية الرئيسية (كحلقة تحلل السكر). فكل هذه الحلقات يُبقَى عليها بفضل شبكة تنظيمات جدّ معقدة؛ فكل المراحل الحاسمة منظمة بميكانيكيات (آليات) تفعيل، أو تثبيط، أو حتى الإثنين معاً».

«ويتابع، إن النتيجة الأعم التي يمكن استخلاصها من هذه الدراسات، هي أنه، في حين يكون في حوار التوازن اختلال النظام والعطالة هما المعيار، ففيما يتجاوز عتبة اللاإستقرار يكون المعيار هو التنظيم الذاتي، الظهور التلقائي لنشاط (فاعلية) متمايز في الزمان وفي المكان، إن أشكال هذا التنظيم المبدد جدّ مختلفة.

فبعض المنظومات تكتسب بطريقة تلقائية عدم تجانس مكاني، وأخرى تتبنى إيقاعاً زمانياً دورياً، تكون ميقاتيات كيماوية حقيقية؛ وأخرى أيضاً تقرن بين بنيويات مكانية وزمانية. والبعض أخيراً تكتسب حدوداً طبيعية حقيقية، أبعاداً معينة بثابتات parametres تميز نشاط المنظومة».

إن مجال البنى التبديدية فتح الطريق لفهم ظواهر فيها يوجد ظهور بُنى تلقائي. إنه يشكل برهاناً جديداً على ضرورة إعادة إدخال البعد التاريخي في وصف ظواهر مادية. إذ أن التعددية الممكنة للحالات المستقرة أو المتذبذبة التي يمكن أن تبلغها منظومة معلومة، في شروط قسرية معلومة، وحتى واقع أن هذه الحالات تمتلك كل منها قطاع استقرار مختلف، يدخلان ظواهر تخلفية (hystersis) مميزة: ولا يتعلق سلوك المنظومة بالنسبة لقيمة معلومة للإقسارات الخارجية وحسب بالشروط الخارجية بل أيضاً بتاريخها الخاص. ومثل هذه السلوك ربما قد لا يستطاع أن يكون ملاحظاً في المجال الخطي للتيرموديناميكا.

علينا الآن أن نترك الظواهر الفاقدة الحياة من أجل السعي لتوسيع المعارف الجديدة المكتسبة في مجال الحياة. رغم الفوارق الهائلة التعقيدية، تذكر بعض أمثلة التنظيم الخلوي بشكل لا مناص منه بشروط ظهور بُنى تبديدية.

* * *

الفصل الخامس عشر
من زمان الأشياء إلى زمان الحياة:
قفزة تعقيدية

إن أمثلة المنظومات التبديدية، التي اقتبسناها من مجال الكيمياء تتضمن بعض التفاعلات المتسلسلة، بحيث تؤثر النواتج التفاعلية لبعض المراحل على جريان مراحل أخرى. وتوحي الحلقات الزمانية المولدة بهذه النماذج البسيطة بمماثلة مع العالم الحي، الذي تلعب الحلقات (الدارات) من كل طبيعة فيه دوراً كبيراً. ألا يمكن أن يُشرح، سلوك إيقاعي للمادة الحية، مثلاً في ظواهر تحلل السكر، في التنفس، أو أيضاً في التركيب الضوئي، بقوانين التيرموديناميكا للسيرورات اللاعكوسة، مطبقة على المنظومات المفتوحة التي هي العضويات الحية؟ إن بريغوجين يعتقد ذلك، وقد سبق له أن كان يكتب ذلك في عام ١٩٤٦. ففي رأيه، خلافاً لحؤولها دون ذلك، تستطيع قوانين التيرموديناميكا أن تقسر بعض المنظومات الكيماوية على تصرفات عظيمة التنظيم.

يجب أن لا نهمل مع ذلك قفزة التعقيد الهائلة التي يمثلها الإنتقال من بعض النماذج الكيماوية المعلومة، التي تتضمن إثني عشرية من المركبات المختلفة، مع أن عمل أصغر بكتيريا يشرك معاً آلاف المركبات في بنية عظيمة التنظيم. ونستطيع أن نفكر بأن هذه المسافة بين بساطة منظومة اصطناعية وتعقيد منظومة حية لا يغطي وحسب اختلافاً سلمياً، بل وطبيعياً أيضاً، باتاحته بروزاً لهذه الميزة الخاصة للحي التي ندعوها الـ «تنظيم الذاتي».

التعقيد الكيماوية للمنظومات الحية:

مثال تحلل السكر

من أجل التمكن من تصنيف ظواهر الحياة في عداد البُنى التبديدية، يجب أولاً التحقق من أن هذه تخضع لثلاثة شروطٍ تفرضها قوانين التيرموديناميكا. في المقام **الأول**، على المنظومات الحية أن تتمكن من أن تتحلل إلى عدد كبير من الوحدات البسيطة، خاضعة لقوى تفاعل متبادل أن تكون قصيرة المدى، على غرار غاز بولتزمان. **ثانياً**، على هذه المنظومات أن تكون من نموذج «مفتوح»، أي قابلة لتبادل طاقة ومادة مع محيطها. **أخيراً**، يجب أن تكون هذه المنظومات مُبقاة، بفعل إقسار خارجي قوي، في حالة لاتوازن، وأن تكون بعيدة بعداً كافياً عن التوازن حتى تفلت من مجال التيرموديناميكا الخطية. من أجل ذلك، يجب أن يكون تطورها منظماً بسلسلة متعاقبة من التفاعلات المتبادلة التي تبدي حلقات ارتجاعية، وعلى كل حال، بلا خطيَّات، كما في حالة التفاعلات الكيماوية التي سبق التنويه بها.

وهذه الشروط تكون بصورة عامة مستوفاة في المنظومات الحية. لننعم النظر في باكتريا، التي هي موجود مكون من خلية وحيدة. وهي تؤوي في هيولاها آلافاً من جزيئات البروتينات المختلفة، ذات شكل، وتركيب متنوعين، قابلين للتأثير المتبادل في اصطدامهما المتبادل. إن الخلية هي منظومة مفتوحة، بفضل نفوذية غشائها. زد على ذلك، أن بعضاً من هذه العضيات (متقدرات، صانعات خضراء) متخصصة في تبادل الطاقة مع الخارج، كالتنفس أو التقاط الطاقة الشمسية. وهذه التبادلات الطاقية والمادية تبقي على الخلية في حالة تتميز بلا تجانس بنيوي كبير جداً، جدّ بعيد عن التوازن التيرموديناميكي. أخيراً، إن الممارسة العادية للوظائف الحيوية في هذه الخلية تشرك سلاسل تفاعلات معقدة، حيث المراحل الإرتجاعية، مع تحفيز ذاتي أو تحفيز متصالب، تكون متواترة. وتلعب الأنزيمات، التي هي بروتينات تركيبية في داخل الخلية نفسه بفضل صناعة التركيب المُقاد بالـ ADN،

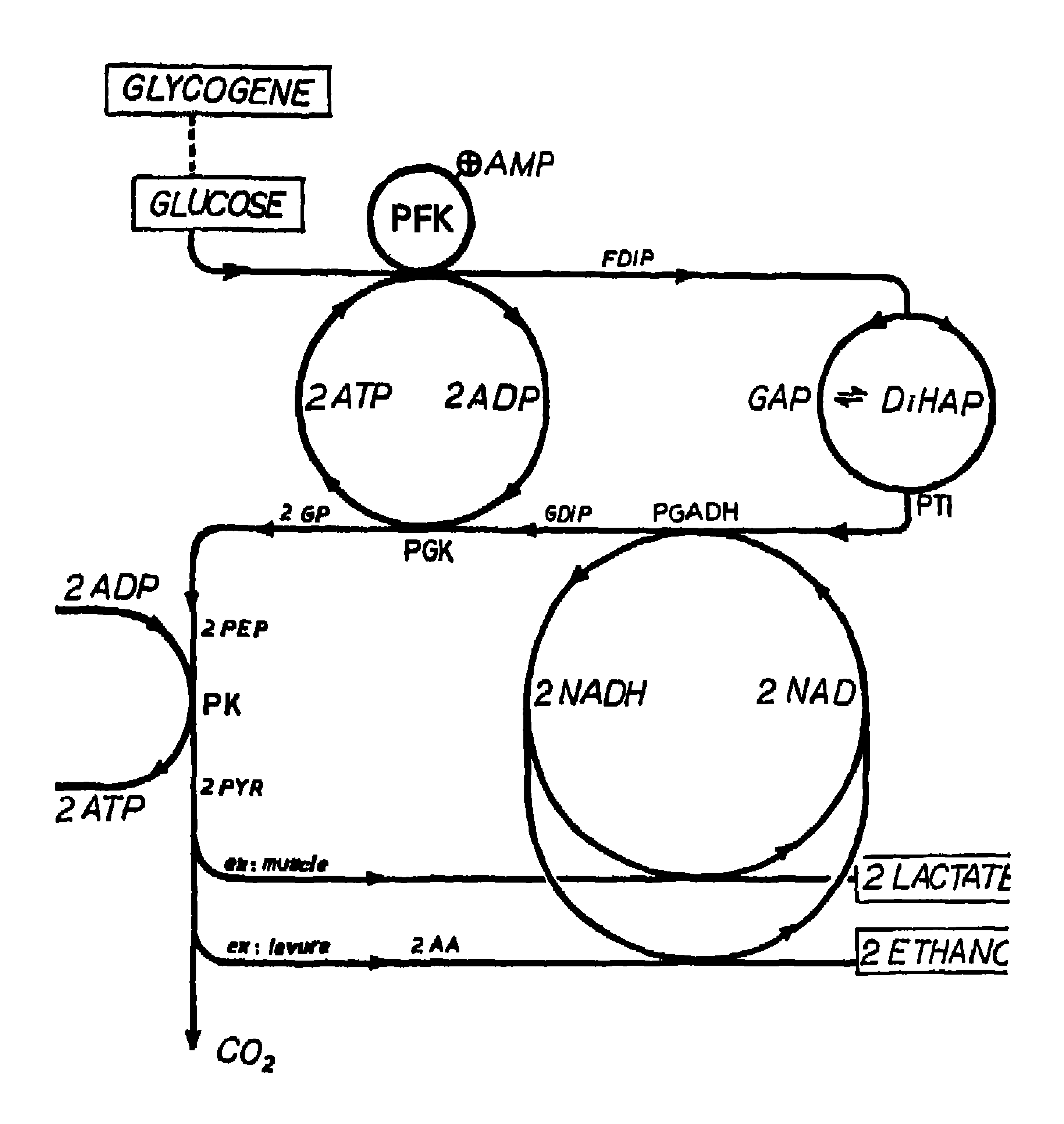
في هذه التفاعلات دور الحفازات، إن وظيفتها الفاعلة ترتبط بصورة عامة بشكل جزيئها المتعرج جداً، الذي يبدي في مكان الأعشاش أو الفخاخ المقولبة تقريباً بعض الأجزاء من كذا أو كذا جزيئات مقدرة لأن تتفاعل، الأمر الذي يسهل لقاءها. وتحتوي البنية الخلوية أيضاً أغشية عديدة نصف نفوذه، تحدد الحياطات والآليات الداخلية لمختلف العضيات وكذلك الضفيرة الشبكية أو الهيكل الداخلي. وتبقي هذه الأغشية من جهة أخرى على بعض الإقسارات داخل الخلية؛ إنها تمنع الإمتزاجات غير الموافقة وتسهم في الإبقاء على الخلية في حالة من عدم التوازن.

ولدي قبولنا بأن العضويات الحية كانت تفي بشرط تطبيق التيرموديناميكا للسيرورات اللاعكوسة، نستطيع أن نطرح سؤالين: هل إن هذه النظرية تستطيع أن تأخذ بالحسبان تنظيم البنى المكانية والزمانية الحيوية والإبقاء عليها، الضروريان لوظائف المنظومات الحية الخاصة؟ هل تستطيع أن تؤمن لنا دلالات عن ظهور الحياة، عن الإنتقال من انعدام الحياة إلى الحياة؟

لنوضح **السؤال الأول** بمثال، مختار لأهميته في الوسط الحيوي: مثال حلقة تحلل السكر، أي مجموعة التفاعلات التي بها تستعمل الخلايا الحيوانية احتياطاتها من الغليكوجين من أجل صنع الأدينوزين الثلاثي الفوسفات («وقودها» الطاقي المباشر). فتحلل السكر ليس سوى نموذج مثالي من بين الوظائف الحيوية وميكانيكياته نسبياً معلومة جيداً، خلافاً لوظائف حيوية أخرى مثل التركيب الضوئي الكلورفيلي، تدخر مراحل أخرى لا تزال ناقصة الوضوح.

إن انحطاط (تدرُّك) الغلوكوز من أجل صنع جزيئات آدينوزين-ثلاثية الفوسفات (ATP)-جزيئا ATP من كل جزيء غلوكوز، انطلاقاً من جزيئي آدينوزين ثنائي الفوسفات أو AOP - هو أحد الطرق التي تستعين بها العضويات الحية على تأمين حاجاتها الطاقية. والمراحل الرئيسية لتركيب الـ ATP هذا معلومة منذ بداية القرن. لكن لم يحصل إلا في عام ١٩٥٧ أن وضح ديورنيس وأميسنر التذبذبات (النوسانات التي ترافق عادة هذا التركيب (الإصطناع). وكان هيغينز في

الولايات المتحدة وسيلكون في الإتحاد السوفييتي أول من اقترح (في١٩٦٧ - ١٩٦٨) ميكانيكيات من أجل شرح هذه النوسانات .



فالمراحل الرئيسية لتركيب الـATP في هذه الطريقة يلخصها الشكل ١١ .
وهذا الشكل لا يتعلق إلا بجزء من الأجهزة الطاقية الخلوية ، إذ، في الأعلى ، سبق

أن حصل التركيب والخزن وانحطاط (تدرُّك) الغليكوجين إلى غليكوز، في حين يستطيع في الأسفل الحمض اللبني والإيتانول أن يكبدا انحطاطات لاحقة، في وسط حيوي هوائي.

يكون الغلوكوز أولاً فوسفوريلي (بفعل الـ ATP) وبعدئذ محولاً إلى سكر فاكهة فوسفوريلي. ويتلقى سكر الفاكهة الفوسفور يلي هذا ذرة فوسفور ثانية، يعطيها من جديد جزيء ATP، في غضون تفاعل محفَّز بأنزيم ذي أهمية هنا بخاصة، هو الفوسفوفروكتوكيناز (PEK). ويكون ناتج التفاعل، سكر فاكهة ثنائي الفوسفات (FDi P)، حينئذ منقسماً إلى تريوزينين (كل منهما يمتلك ٣ كاربون، بدلاً من ٦ للغلوكوز وللفروكتوز (سكر الفاكهة، D - glyceraedehyde - pho-hate (GAP) وَ di - hydroxy - aceton - phssphete(Di HAP). وهذان المركبان يتحولان بالتبادل أحدهما إلى الآخر، بفعل أنزيم آخر، الفوسفوتريوزايزوميراز (PTI). ويكون الـ (Di HAP) متأكسداً حينذاك بال NAD (نيكوتيناميد-أدينين-ثنائي النوويد) بحضور حمض الفوسفوريك وتحت تأثير الفعل التحفيزي لأنزيم نوعي، الفوسفو-غليسيرالديهيد ديهيدروجيناز (PGADH)، بحيث تكون التريوزا في النهاية متحولة إلى حمض غليسيرين ثنائي الفوسفات (GDiP)، في حين أن الـ NAD يكون مُرجَعاً إلى NA DH. وتكون جزيئات GDiP نفسها بعدئذ متحولة، بتأثير فعل ADP الصادر عن التفاعل المحفز بالفوسفوفركتوكيناز وبحضور الأنزيم الفوسفو غليسيرات كيناز (PGK)، إلى حمض غليسيري-فوسفات (GP)، في حين أن جزيئات الـ ATP الأصلية تكون متجددة. على هذا الحال، ترجع، في غضون هذه الحلقة (الممثلة بالدائرة التي في الأعلى وإلى اليسار من الشكل، ذرة الفوسفور الثانية، المرتبطة بكل تريوز، إلى الـATP وتكون التريوزات متحولة إلى أحاديات فوسفات. بعد تحول إضافي، يكون الحمض الفوسفو-غليسيرين متحولاً إلى فوسفو إيغول پيروڤات (PEP). وفي غضون التفاعل التالي، المحفَّز بالأنزيم پيروڤات كيناز (PK)، يتخلى الفوسفو إيغول پيروڤات عن فوسفوره الباقي إلى جزيء ADP، محولاً إياه إلى ATP، في حين أنه هو نفسه ينجب پيروڤات

(PYR)، في بعض العضويات الحية، نسيج الشدييات العضلي مثلاً، تكون جزيئات البيروڤات نفسها مرجعة، بتأثير فعل NADH المكون قبلاً، إلى لاكتات. هذا الناتج يتراكم وقتياً في الخلية ويسبب، في العضلات المحَضَّة حضاً جدّ نشيط بفعل مجهود، معص وآلام عضلية نعرفها جيداً. وفي عضويات أخرى كالخمائر الكحولية، يكون البيروڤات منقسماً إلى أسيتالديهيد (مع انطلاق غاز كاربوني). أخيراً يكون الآستيالديهيد مؤكسداً بالـNADH إلى إيتانول، وهو ليس شيئاً آخر غير الكحول في المشروبات المتخمرة.

في هذه المجموعة من التفاعلات المحفزة بالفوسفوفركتيكنياز، تكون النقطة الجوهرية هي حساسية هذا الأنزيم القصوى لحضور AMP، الذي هو نفسه نذير الـ ADP. والـ AMP يستطيع أن يثبت في بعض مواقع خاصة من الأنزيم، الأمر الذي يحث على تغير في شاكلته يسبب ضرب كامن فاعليته بمائة. على هذا الحال، يميل انتاج ADP في غضون هذا التفاعل إلى تسريع فعل الفوسفوفروكتيناز، بسيرورة مضاعفَة للتحفيز الذاتي. ويتسارع التفاعل، إلى أن يصبح، في المراحل التالية، الـADP الناتج نفسه متدركاً (منحطاً)، مسبباً تباطؤاً للتفاعل، وتنتج هذه الميكانيكية والحالة هذه نوسانات (ذبذبات)، نبرهن وجودها بأن نلاحظ بخاصة تغيرات التألق المرافق لتغيرات تركيز NADH للوسط العضوي. وفي معظم شروط الملاحظة، يكون دور الذبذبات من رتبة الدقيقة.

توضح حلقة الغلوكوز والميكانيكية المولدة للنوسات (ذبذبات) درجة تعقيد وظائف العضويا الحية، بالنسبة للميكانيكيات البسيطة للتفاعلات الدورية المدروسة في مختبرات الكيماء المعدنية. كانت الطبيعة، بشكل من الأشكال، «مُجبرة» على اختراع هذه الوصفات المتكلفة لكي تستطيع أن تنتزع أفضل ربح من البيئة. ونعتبر أن المردود الطاقي لتحلل السكر، أي النسبة بين الطاقة الجاهزة نظرياً (بأكسدة تامة للغلوكوز) وبين الطاقة الموضوعة في الواقع تحت تصرف الموجودات الحية بشكل ATP، تكون - في حالة الموجودات الحية الحيهوائية المناسبة - من مرتبة ٣٠٪، وهو رقم يندر أن تتجاوزه الآلات التي يبنيها الإنسان. في وظيفة حيوية أخرى، هي

التركيب الكلوروفيلي، يكون تعقيد الميكانيكيات مفروضاً بعدم كفاية طاقة الفوتونات الشمسية حتى تسبب مباشرة تركيب الكاربوهيدرات: تيتح التفاعلات الكيماوية المتتابعة مراكمة طاقة عدة فوتونات، ثمانية بالإجمال لكل ذرة كاربون مستخلصة من غاز الكربون الجوي ومثبتة في جزيء غلوكوز. ولا يتجاوز المردود الإجمالي المقابل بعض واحدات بالمائة، لكنه يحقق بهذه اللعبة ذات السلالم القصيرة المتتابعة ما ربما كان يمكن أن يبدو ممتنعاً.

لننتهي الآن إلى السؤال الثاني. تتيح تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة فهم وجود منظومات بنيوية (مبنية)، يمكن أن يحافظ تنظيمها على بقائه رغم الانحرافات (التموجات) الإحتمالية للإقسارات التي تفرضها عليها البيئة. إن هذا التنظيم غالباً ما يسبب دورية في سلوك هذه المنظومات. بالمقابل، لا تتيح تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة فهم لماذا تنامت بالفعل، في غضون التاريخ الأرضي، شجرة الحياة العملاقة، التي يبدو كل فرع من فروعها أكثر من الغصن الذي أنجبه. إنها تبيح وجود منظومات معقدة وتتيح فهم كونها مكانياً وزمانياً منظمة. ولا يبدو أنها تستطيع أن تشرح بشكل مباشر لماذا تسلقت العضويات الحية بعناد كبير، متجاوزه طوارىء تاريخ قِدَمُهُ يمتد ٣ مليار سنة، سلَّم التعقيد.

تعقيد وتكامل طاقي لدى العضويات الحية

استرعى الإنتباه إلى تعقيد المنظومات الحية الهائل أيضاً خصائص أُخرى غير عدد المكوِّنات أو المراحل الكيماوية. ففي معظم المنظومات الفيزيا-كيماوية، تكون التبدلات الطاقية بين المنظومة والخارج نسبياً متجانسة: فهي كلها من طبيعة كيماوية، كهربائية، فوتونية... وفي المنظومات الحية، تكون التبادلات الطاقية هذه متنوعة ومترابطة. على هذا الحال يعتمد نشاط التركيب الفوسفوري الكلوروفيلي على وارد الطاقة الضوئية (الفوتونية)، بيد أن هذه الطاقة تكون مستخدمه مباشرة من أجل تحقيق نقل الكترونات عبر الأغشية، يتيح في النهاية إعداد مواد كيماوية ذات قيمة طاقية عظمى. وكلما تسلقنا سلم تعقيد العالم الحي،

نشاهد إعداد شباك أكثر فأكثر ترابطاً، وفيها تكون الطاقة منقولة في حالة أنطروپيا خفيضة أكثر فأكثر، وتكون أكثر فأكثر «ترتيباً». في هذه المرحلة، سوف نفضل التحدث عن نقل «إعلام». وتكون بهذا الشكل البُنى الكيماوية قد أوصلت إلى سوية راموزية (الراموز الوراثي مثلاً)، رسالة بين الخلايا (الـARN الرسل مثلاً)، ثم رسالة بين الخلايا (هومونات، شبكة هومونية). وتستعمل بعض الخلايا الحية أيضاً رسالة من طبيعة كهربائية، بفضل الأغشية المستثارة، وفي العصبون، يشكل انتشار موجة كامن كهربائي على طول الغشاء السائل العصبي بحصر المعنى. ومن خلية إلى أخرى، يكون نقل السائل العصبي عادة بوساطة رسالة كيماوية، بفضل تحرير ناقل عصبي في مكان التماس بين العصبين، يدعى مكان مشبكي، ويستطيع السائل العصبي بهذا الشكل أن يعبر كل المنظومة العصبية وأن يكون موجهاً وفق خطة داخلية نحو أهداف خاصة. ويبلغ تكامل المنظومة، لدى الموجودات العليا، درجة بحيث يوجد بداهة أفعال وأفعال ارتجاعية بين طبيعة الرسائل العصبية المنقولية والبنية الفيزيولوجية للأعضاء، نوعاً ما كما لو كان في ناظمة الية نموذج برمجي مُخضع يستطيع أن يكون له تأثير على بنية الآلة، كما لو أن اللوجسييل «Iogiciel» يستطيع أن يؤثر على «العتاد».

من التكوين الذاتي إلى التعقّد الذاتي

إن التكامل الطاقي جانب مهم من جوانب السيرورات التي تفضي إلى إعطاء هوية ودوام للعضويات الحية. وقد اقترح فرانسيسكو ڤاريلا التشديد على أهميتها بتسميته هذه السيرورات «ذاتية التكوين»، أي انتاج موجودات حية لذاتها بذاتها. بيد أن هذه الخاصة تبدو مميزة للمنظومات المعقدة بعامة، بدلاً من تمييز الموجودات الحية بخاصة؛ ونعرف الآن أن نمنح بشراً آليين (automates) علماويين القدرة على أن ينبنوا وينتجوا نسخاً لذواتهم: وربما تكون بالأحرى، الخاصة الجديدة للعضويات الحية، المفقودة أو العديمة التأثير في المنظومات الفيزياء ـ كيماوية الإصطناعية، خاصة تعقد ذاتي: فهي تغترف في ذواتها وفي تفاعلاتها المتبادلة مع

الخـارج الموارد الضـرورية ليس فـقط من أجل أن تنـجب من جـيـل إلى جـيـل موجودات تشبـهـا، بل من أجل أن تمنح الوجود لموجودات أكثر فأكثر تعقيداً. وتحقق ذلك على مرحلتين. في مرحلة **أولى**، تبني بطريقة تراتبية خالقةً تلقائياً عوائق نصف نفوذة (كالأغشية الخلوية)، بشكل يحدد سويات نسبياً مستقلة ذاتياً لتنظيم وجريان الطاقة والأنطروپيا. من بين هـذه الوحـدات الجزيئة المتحاورة بشكل دائم، لا تكون كثير من الوحدات غير تنسخ لنموذج مثالي، وتؤمن للعضوية احتياط «فيض». وفي مرحلة **ثانية**، عندما تكون درجة الفيض المكتسب كافية من أجل تأمين بقائها، تستعمل العضويات الحية الصدف الخارجية من أجل تحويل جزء من هذا الفيض الداخلي إلى تنظيم جديد، وتسلق سلم التعقيد بهذا الشكل.

إننا بعيدون عن التأميلات الحماسية والساذجة التي كانت لدى السيبيرنتيين الأوائل، الذين كانوا يأملون، كونهم مسلحين بمبدأ الفعل الإرتجاعي وحده، أن يجعلوا من «بشرهم الآليين» نماذج للعالم الحي، وحتى للعالم العاقل. وكان البعض من بينهم يعتقدون أنهم بتطبيقهم النموذج الارتجاعي، ليس بعد الآن على تفاعلات كيماوية مزاوجة، بل على آليات ـ دماغية كهراطيسية، ربما يستطيعون أن يفهموا وحتى أن يحاكوا وظائف الدماغ. وصحيح أن هذه الأبحاث هي في أصل اختراع الناظمات الآلية. وقد منحت امتداداتها نتائج مدهشة إذ أنها أتاحت تطوير «الذكاء الإصطناعي»؛ وقد أمنت الآلات المتخصصة في «التعرف إلى الأشكال»، وتلك ذات العصمة المنطقية والذاكرة الموسوعية لـ«منظومات الخبيرة». ويعترينا الدوار لرؤية هذه الإنتصارات، ونفكر في توقعات ڤون نومان، الذي كان يتنبأ منذ عام ١٩٤٨ بأن «باني البشر الآليين سوف يصبح، سريعاً، أيضاً أعزلاً أمام خليقته كما نحن كذلك أمام الظواهر الطبيعية المعقدة»! وقد أجتاز، في هذه السنوات الأخيرة بعض أنماط البشر الآليين خطوة جديدة، باحتيازهم خاصتين جديدتين يتقاسمونها من الآن فصاعداً مع العضويات الحية: مقاومة الأعطاب الصغرى للمركّبات، والتعلم، أي التكيف المتدرج مع وظيفة معينة. لكن ربما يكون من

الإفراط آن نقارن هذه الآلات، مهما بلغ من شأن انتصاراتها، بعضويات حية. ففي الواقع، يمثل البشر الآليون المعنيون درجة تعقيد وسيطة بين المنظومات الكيماوية التبديدية والمنظومات الكيماحيوية الحية. ولهذا السبب، توفر نماذج مفيدة يمكن أن تكون دراستها ثمنية . . .

* * *

الجزء الرابع

الزمـان، محرك الحياة

الفصل السادس عشر

ما هي الحياة؟

العلم هو سلاح بالنسبة للفلسفة، لكنه لا يتقدم إلا بخطى قصيرة. والـ «لاءات» الصغيرة التي يحملها إلينا لا تكون بذلك أقل نفاسة. وإذا كانت الأسئلة الكبرى تظل في ماهيتها هي عينها، فعلى أي حال تصبح التعابير التي تطرح بها أكثر فأكثر دقة. على هذا الحال لا نعرف بعد تعريف الوعي. إن أول بشر آلي سوف يلتفت نحو بانيه ليعلن له أنه واعٍ سوف يحدث كثيراً من الإرباكات، لأن وعي الذات لا يتحمل قط تعريفاً قابلاً للتطبيق على الآخرين وحقيقياً. لكن هل نعرف على الأقل كيف نعرّف الحياة؟ إن الأجوبة التي حملها إلينا العلم تتيح أن نحدد بشكل أفضل خواصها المميزة. فالـ «لاءات» الصغيرة التي تأتي بها التجربة توجهنا، تدريجياً، نحو تفسير جديد للبيولوجيا، فيه، على غرار اكتشاف غاليليه في مجال الفيزياء، ربما يستطيع الزمان إجادة لعب دور مركزي

معايِر الحي

إن أول تعريف **للحياة** هو التعريف الذي يعارضها بضدها المحتَّم، **الموت**، لكن هل إن هذه التعارض مؤسس حقاً؟ هل صحيح أنه ينبغي على جميع الموجودات الحية أن تموت؟

ليس مؤكداً بشكل مطلق أن يكون الموت هو النهاية المحتَّمة للحياة. فبعض الموجودات البسيطة كشقائق البحر لا يبدو أنها تشيخ وتتمتع بطول عمر محدود وحسب بالحادثات الخارجية، وينتمي الرقم القياسي الملاحظ لطول العمر إلى مستعمرة شقائق بحرية اجتنتها في عام ١٨٦٢ آنّ نيلسن لصالح مربي المائيات في

جامعة إيدنبورغ، وحُفظت تحت مراقبة مستمرة، دون تغيير ولا شيخوخة ظاهرة، خلال أكثر من ثمانين سنة. وقد هلكت الشقائق البحرية التي أهملت عرضاً خلال **الحرب** العالمية **الثانية**.

كل عضوية حية معقدة غاية التعقيد، ويبدو هذا **التعقيد** على علاقة متينة بالحياة نفسها. فعضو كدماغ الإنسان يحتوي على عدد من الخلايا (حوالي ٥٠٠ مليار)، مماثل لعدد نجوم مجرة كجمرتنا! وهذه الخلايا تكون على علاقة متينة بعضها بالبعض الآخر. أفلا يمكن أن يكون تعريف الحياة معتمداً على هذا التعقيد؟ كلا، لأن التعقيد ليس مرادفاً للحياة. والآلات الأكثر تعقيداً ليست بالضرورة آلات حية. فربما نستطيع حتى أن نبني الات مفرطة التعقيد، قادرة على أن تنتج عين ذاتها. دون أن يكون الأمرُ حتى من أجل هذا أمرَ آلات حية.

وقد حدد جاك مونو، في كتابة **الصدفة والضرورة**، بدقة العبارات التي تطرح بها مسألة السمات المميزة للحي. فهو يسلم أولاً - متفقاً في ذلك مع پروغوجين - بأن التنظيم الذاتي للمنظومات الحية، بدلاً من أن يتحدى قوانين التيرموديناميكا، يستعمل هذه القوانين: «فالبنيان التلقائي (لدى الموجودات الحية) يجب بالأحرى أن يكون معتبراً على أنه ميكانيكية»، هذا ما قاله.

وقد ميز في حدث الحياة، زيادة على هذه الخاصة التمهيدية ثلاثة سمات: **التليُونوميا**، أي ظاهر مشروع (مشروع تأمين تخليد النوع)، مقترن بوجود برنامج وراثي (جيني)؛ **التوالد اللامتغير**، انجاب فرد لفرد آخر شبيه به شبهاً جوهرياً - أو الأولى، على السوية الجزيئية، التكاثر على غرار الـ ADN في التكاثر الخلوي -؛ وأخيراً ما ربما نستطيع أن ندعوه «**الإغلاق**»، أي، بالنسبة لكل موجود حي، واقع أن تحصل الولادة وحسب بفعل قوى بيولوجية تحرك والداً من طبيعته عينها.

هذه السمات الثلاث ذات أهمية متفاوتة. فالتكاثر اللامتغير، الذي يشكل إحدى سمات الحياة الأشد إدهاشاً، كان في الغالب قد أقر على أنه الطابع المميز للحياة الأكثر جودة. في الواقع، ليس هذا الطابع طابعاً مميزاً للعالم الحي. فموتو

نفسه لاحظ أنه بمعنى من المعاني يكون تبلُّر الملح البحري انتاجاً لعين الشيء بالشيء نفسه: فالبلُّورات تتزايد بالتقاط متتابع لشوارد صوديوم وكلور من الوسط المحيط، على نموذج هندسي تؤمنه جرثومة البلُّور. وحسب هذا التعريف قد يجب أيضاً أن تعتبر على أنها حية بعض الڤيروسات التي تكاد أن لا تكون غير جزيئات كبرية بسيطة ذات أشكال هندسية، يعرف كيميائيون أن يحصلوا عليها في الحالة التبلورية. يجب مع ذلك تنويع هذه الملاحظة، في النطاق الذي تكون فيه الڤيروسات المعزولة لا تتكاثر إلا إذا تطفلت على خلايا حية. من هذا القبيل، ربما نستطيع أن نقول والحالة هذه أنها لا تملك الحياة إلا في حالتها الكامنة أو الموجودة بالقوة.

ظاهر مشروع

بما أن التكاثر اللامتغير لوحده لا يشكل معياراً مميزاً للحي، فلا بد لنا الآن من أن نمتحن المعيارين الآخرين المقترحين: التيليُونوميا والإغلاق. ما هو «المشروع» الذي يذكر به مونو؟ إن الأمر هو في الواقع أمر ظاهر مشروع إذ أنه، بالفرض، لا يوجد سبب غائيّ كي يوجه سيره. ويلخص أتلان فكر مونو هكذا: إن سيرورة تيليُونومية لا تعمل بموجب أسباب غائية حتى في حين أنها تبدو على هذا الحال، حتى في حين أنها تبدو موجهة نحو تحقيق أشكال لن تظهر إلا في نهاية السيرورة. وما يعينها في الواقع لا يكون هذه الأشكال باعتبارها أسباباً غائية، بل تنفيذ برنامج، كما في آلة مبرمجة يبدو اشتغالها موجهاً نحو تحقيق حالة مستقبلية، في حين أنها في الواقع معينة سببياً بمتوالية حالات حيث جعلها تمرُّ البرنامجُ المعين مقدماً. والبرنامج البيولوجي نفسه، المحتوى في المجين المميز للنوع، هو نتيجة تطور بيولوجي طويل حيث، تحت تأثير مفعول متواقت للطفرات وللإصطفاء الطبيعي، ربما سوف يصبح متحولاً وهو يتكيف مع شروط الوسط». إذا يقرن مونو الحياة بغياب مشروع حق، بغياب الأسباب الغائية في تحقيق أشكال مُعَضَّاة للحياة، بالسوية المزدوجة لنمو فرد بدءاً من خلية انتاشية للمضغة (هذا تكوّن الفرد)، ومن

تفريق الأنواع وتطورها نحو التعقيد (هذا **تطور السلالات**). نشير هنا أن الغياب المزعوم لأسباب غائية هو مبدأ مطروح **قبلياً**. ولا شيء يمنع، في الواقع، أن نفسر، كما كان يفعل ذلك منذ عدة عقود پيير تيبيار دي شاردان، الملاحظات الإحائية والبيولوجية على أنها تكشف فعل سبب غائي (**الله**)، قيد العمل داخل العالم المعدني عينه كي يدعوه إلى الحياة وفي داخل العالم الحي عينه كي يدعوه إلى الروح. بالنسبة لتيبار دي شاردان، هذا السبب الغائي يعالج بلا كلل المادة ويقيم استمراراً كلياً بين المادة اللاحية، والعضويات الحية، والموجودات العاقلة. وما ندعوه الحياة والروح لا تكون حينذاك غير عتبات يجب اجتيازها تتيح لهذه الخواص الماثلة أن تتكشف. بيد أن الثمن الذي يجب دفعه من أجل مثل هذه القراءة لكتاب الحياة هو فصل رهيف بين المجال العلمي، مجال القوانين السببية، والمجال الروحي، المفتوح على القوانين الغائية. هاكم بلاشك السبب الذي من أجله يسلك القليل جداً من رجال العلم في هذه الأيام طرقاً كهذه الطرق.

طبقاً لتحليل جاك مونو الإختزالي، فإن مسألة نوعية الحي قد أرجعت إلى مسألة التطور: هل يعقل أن تكون جزيئات الـADN، التي تصيغ البرنامج الوراثي لمختلف الأنواع الحية والتي هي والحالة هذه مسؤولة عن ظهور عضويات أكثر فأكثر تعقيداً، ناتجاً ميكانيكياً للصدفة وللضرورة؟

إن تِلِييُونوميامونو المؤسسة على «مشروع» تأبيد النوع، لا تستطيع أن تعرض تعقيد الحياة في غضون تطور السلالات. وفي رأي فرانسوا جاكوب، لا تنحصر **التِلِييُونوميا في مشروع تأبيد النوع**، فهي أيضاً وبخاصة فوز الإستقلال الذاتي العنيد. ففي رأيه، يكون الموجود الحي هو الموجود الذي ينزع إلى أن يعيش حراً؛ وبرنامجه الداخلي يكون بالضبط موجهاً نحو الإنعتاق من الإقسارات، باستحالات تستلزم، منطقياً، عتبات يجب اجتيازها، ولادات متتابعة. «وما يميز على ما يحتمل التطور عن كثب أكبر، هو الميل إلى التلطيف في تنفيذ البرنامج الوراثي؛ هو «انفتاحه» في اتجاه يتيح للعضوية أن تزيد دائماً أكثر علاقاتها بوسطها

وأن تمد بهذا الشكل مدى عملها. ويكون البرنامج، لدى موجود في مثل بساطة باكتيريا، شديد الصلابة في التنفيذ، إنه «مغلق» من هذا القبيل أن العضوية لا تستطيع، من جهة، أن تتلقى من الوسط إلا إعلاماً جدّ محدود، ومن جهة أخرى أن تتفاعل فيه إلا بطريقة معينة بدقة. . . وعلى السوية العيانية، يعتمد التطور والحالة هذه على إنشاء منظومات اتصالية جديدة، في داخل العضوية كما بينها وبين ما يحيط بها. ويترجم ذلك على السوية المجهرية بتعديل البرامج الوراثية، من حيث الكيف ومن حيث الكم.

نعثر والحالة هذه، كتمهيد لتعريف للحي، علي المقومات عينها التي عودتنا عليها دراسة المنظومات التبديدية. والعضويات الحية، شأنها شأن هذه المنظومات التبديدية، هي منظومات مفتوحة بشكل أساسي، بالمعنى الذي لتيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة: فلكي تعيش، عليها أن تكون قادرة على أن تتبادل مع الخارج مادة وطاقة. من جهة آخر إنها تكون على ذلك الحال بالضرورة، لأن بناء تعقيدها لا يمكن أن يتحقق إلا لقاء استهلاك انتفاء انطروبيا موجود قبلاً يؤمنه مباشرة ضوء الشمس (كما في حالة التركيب الضوئي)، أو يؤمنه بشكل غير مباشر كل الأغذية العضوية الغنية بالطاقة والمحملة بانتفاء الأنطروبيا. بيد أن الحياة تتطلب بعداً إضافياً تيلِيِيُونومياً، مشروعياً، فوزاً بالحرية ووفق النظرية التأليفية (التركيبية) للتطور، يكون هذا التوجه مفروضاً بالاصطفاء الطبيعي. فالمسألة والحالة هذه تطرح الآن بالعبارات التالية: هل إن وجود برنامج وراثي داخلي، مقرون بتحريضات البيئة الخارجية التي تجاوب عليها الحياة بالإصطفاء الميكانيكي الأكثر جدارة، يكفي من أجل تحليل ملاحظاتنا الإحاثية والبيولوجية؟ إن مونو كداروويني جديد مقتنع يؤمن بذلك بثبات. لكن يبدو أكثر إنصافاً، هنا أيضاً، أن نقر بارتيابنا حول هذا الموضوع.

منذ مضي عشرة السنين، لم يكن يستطيع فحصٌ خالٍ من الحماس أن يوصل عقلاً مستقلاً إلى أن يعتنق بلا تحفظ إيمان الداروينيين الجدد. لم يكن موقفهم

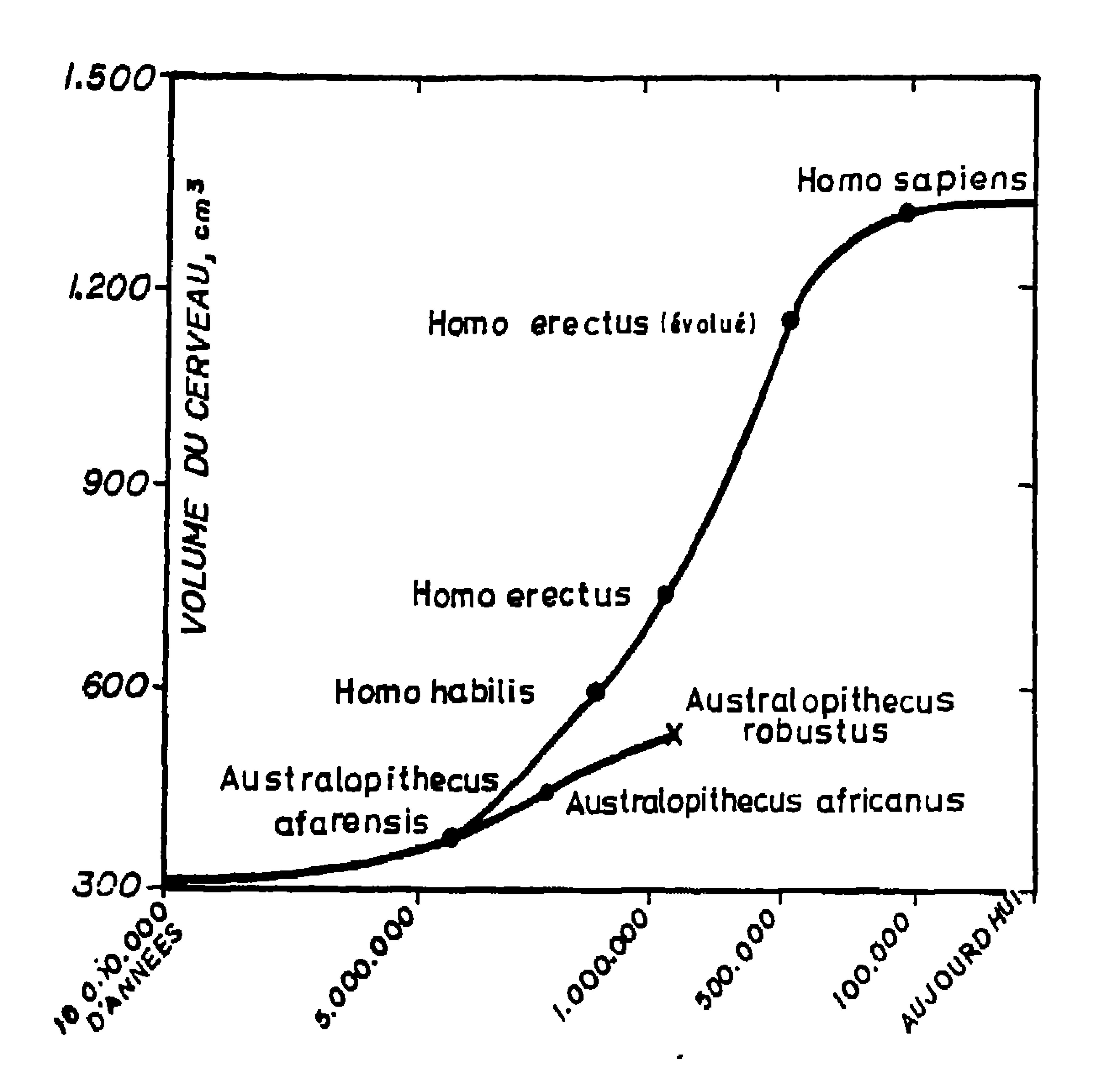
أبناء الزمان م ـ ١٤

المناضل، القابل لأن يُشرح بلا شك بمشروعهم للإطاحة بقرون من الدغماتية الدينية، يمضي دون رأي قبلي إيديولوجي. كان نظريون جدّيون يستنتجون، وهم يقومون بتصنعات على ناظمات آلية، امتناع تخطيطة مقترحة وفقها ربما يكون تعقيد الحياة قد ازداد حسب مشيئة صدف الطفرات الوراثية والإصطفاء الطبيعي. وقد كانت هذه الحسابات قد نشرت بشكل شبه سري. مع ذلك كانت بعض العقول تملك ما يكفي من الإستقلال من أجل التنديد بأعلى الصوت بهذه الصعوبات والتعبير عن الشك بصدد استطاعة الداروينية الجديدة الشرحية.

تسارعات التطور

إن الإمتياز الذي مُنح للراموز الوراثي، كشرط أساسي ومميز للحي، لا يتيح فهم لا بداية الحياة ولا قدرتها على التعقُّد، على طور التطور. وحوار الحي مع البيئة هو أيضاً أساسي، بيد أنه لا يبدو أنه يمكن أن يتلخص بقواعد الصدفة والإصطفاء العمياء ومن أجل إيضاح طرائق هَذَا الحوار، لاحظ فرانسوا جاكوب أن خواص الحي لا تتركز على التركيب الكيماوي للـADN. فللحياة أيضاً كخاصة مميزة كونها قد تنظمت من ناحية التطور السلالية والتكون الفردي بشكل تدريجات متتابعة، مع سويات تكامل مترابطة. وفي غضون التطور أتم كل تدريج تنظيمه الخاص قبل أن تستطيع العضوية أن تنتقل إلى مرحلة تعقيد أعلى (مثلاً - حسنت الحياة الخلوية نفسها خلال زمن طويل قبل ظهور موجودات متعددة الخلايا): فالحياة تسلَّقت سلَّم «أجزاء مكملة intgrans» وقد عرف التطور، في بعض أدوار تاريخه، تسرعاً عنيفاً، يتناقض مع تحسين المراحل السابقة الهادىء، وهذه هي، مثلاً، حالة الظهور المتواقت، منذ ما يقرب من ٥٧٠ مليون سنة، لتشعبات المملكة الحية الرئيسية، انطلاقاً من موجودات بحرية رخوة ومتجانسة نسبياً كانت تقطن البحار ما قبل العصر الكمبري. وهذه على ما يبدو أيضاً حالة الدور الذي يحدد غزو الأرض اليابسة من قبل الفقاريات الأولى الرباعية الأقدام، منذ عام ٣٨٠ أو ٤٠٠ مليون سنة. لكن ما هو مرموق أكثر من هذه التسارعات

يتعلق بلا شك بتنامي القشرة الجبهية في النوع البشري، لأن هذه القشرة ضاعفت عملياً حجمها في أقل من مليون سنة، من الإنسان المنتصب إلى الإنسان العاقل الحديث.



على هذا الحال «لا تزال السرعة التي تنامى بها دماغ الإنسان صعباً فهمها بما فيه الكفاية». وإنه لفي غضون هذه السنوات الأخيرة، أن بدأنا، مع اقتراح مراقبة زمانية للتعبير الوراثي والإكتشافات الأولى الخاصة بمورثات التنظيم، نتصور نمط

قواعد اللغة التي ربما تستطيع أن تقنّي التطور، وتعمل بحيث لا تظهر الطفرات إطلاقاً باعتبارها ثمرة الصدفة البحتة، بل تظل في خط تلاحم معين.

هل إن التطور الوراثي (الجيني) يخضع لقواعد نحوية؟

إن هذا النحو، الذي لا نعرف بعدُ كل قواعده، يُقَنّي الصدفة ويوجه تكون الفرد وتطور السلالات في اتجاه جدّ معين. ولكونه ينطبق على الإنسان، فقد أوحى لجيرمي كامبيل عنوان كتابه الجميل The grammatical man. فهذا يلح على التمييز بين جينات (مورثات) بنيوية وجينات تنظيمية، الموازي للتمييز بين الكلمات وقواعد النحو العادي. ويتيح، لدى طفل صغير، تكديس كلمات، لا بمحض الصدفة بل تحت إشراف قواعد نحوية مكتسبة مقدماً، اختراعاً دائماً لجمل جديدة مجهزة بمعنى واضح. بالطريقة نفسها، لا يبدو أن الطبيعة تخترع، في غضون التطور، الطفرات الوراثية بطريقة عمياء بشكل مطلق، بل تستسلم لنحو (قواعد لغوية) يُحتمل أن يكون مفروضاً جزئياً بالبيئة، وجزئياً مقيماً في المورثات (الجنيات) التنظيمية.

من جهة **البيئة**، ربما يتعلق التعقيد المتزايد للموجودات الحية بخواص **تنظيم ذاتي بالضجيج**، تعزى فكرته لڤون فويرستر. وقد لاحظ هانري أتلان بهذا الصدد أن تعقيد المنظومات الحية يتوطد بواسطة لعبة بارعة بين لغو للبُنى داخليٍّ والصدفة الخارجية. وتغترف الفوضى الخارجية من مدَّخر البُنى الفائضة من أجل خلق تعقيدات جديدة. على هذا الحال ألا تمنح النسخ العديدة لبعض تسلسلات الـADN، الوافرة في العديد من نسخ المواريث الجينية، فرصة للعضويات لاكتساب جينات جديدة من أجل صنع البروتين، كانت إلى ذلك الحين غير موجودة. إن إرث الضفدع المورثاتي (الجيني)، الذي يحتوي تكرارات دوافع بعشرات الأولوف تجعله أطول من الإرث المورثاتي للإنسان، إذا ما نظر إليه من هذه الزاوية، يملك على ما يحتمل استطاعة تطورية بالنسبة للمستقبل تفوق استطاعة الإنسان! من جهة أخرى، تشكل الجنسانية، أي على سوية البيولوجيا الجزيئية الإسفاد المنهجي في

مجيِّن بعينه بين مورثين لهما الوظيفة نفسها، أيضاً مدخر لغو فائض. وقد أتاح ادخالها في تاريخ الحياة بخاصة ظهوراً مكتوما لمورثات صاغرة، أي لمورثات لا تقود إلى ظهور سمات جديدة، ما دامت تظل مقنعة بالمورثات المتماثلة المهيمنة. سوف نلاحظ بشكل عابر أنه حسب بعض النظريات الحديثة العهد، ربما يستطيع هذا الفائض أن يلعب أيضاً دوراً مهماً في السيرورات الشيخوخية، التي تفضي إلى الموت، في النطاق الذي تدخل فيه أيضاً هشاشة إضافية إلى المجيِّن. وفي رأي ستريهلر، ربما يستطيع تفتت الـADN المورثاتي عبر فقدان نسخ في المورثات المسؤولة عن انتاج ARN الريبازي، أن تلعب دوراً أساسياً في السيرورة التشيخية.

أما ما يتعلق بقواعد النحو المحتَوَاة في مورثات التنظيم أو مخبأة في كتلة الـ «أنترونات» الضخمة «وهي أجزاء الرامـوز الوراثي التي لا تُنتَسَخ أبداً إلى ARN رسول)، ويبدو أنها تنسق الجزء الزماني من النماء وتشرف على التفريق الخلوي.

وتذكِّر خاصة التعقد الذاتي الموهوبة إلى العضويات الحية بقدرة على القرار ربما تكون هذه العضويات مزودة بها: وربما لا يكون للحياة هدف آخر عير أن تنظم ذاتها بذاتها. وكما أثبت ذلك آشبي في عام ١٩٦٢، ربما لا تستطيع منظومة مغلقة أن تجد في ذاتها المعايير التي يجب تطبيقها من أجل إقرار ما إذا كان التنظيم الذي تم بلوغه حسناً أو سيئاً من وجهة النظر المتعلقة بتزايد التعقيد. إن هنري أتلان يستخلص من ذلك دليلاً من أجل التمسك بدور البيئة: إن مشروع الحياة الظاهر يُملَى من الخارج، وبالضبط عبر الانحرافات (التموجات) الصدفوية للبيئة التي تخضع لها الحياة. وتبدو مفارقة ظاهر مشروع منبجس من صدف البيئة بدهية، لكنه ينضم إلى تحليلنا لدور الصدفة الكوسمية في متجهة (سهم) الزمان الفيزيائي. يجب أن نعترف، مع ذلك، أننا لا نزال بعيدين عن فهم هذه الآليات فهماً تاماً.

ظهور الحياة

عندما نعرف كل المعرفة القواعد النحوية التي توجه عمارة **الحياة**، سوف تستطيع على ما يحتمل أن نفهم الميكانيكيات التي بواسطتها ظهرت **الحياة** على

الأرض، ويعتقد كثيرون أن الشروط الإستثنائية التي كانت تسود على سطح **الأرض** منذ ثلاث أو أربع مليارات السنين سهلت الإنتقال من اللاحي إلى الحي. وقد كانت تجارب ستانلي ميلر وهارولد أوري، في **جامعة شيكاغو**، في عام ١٩٥٣، حول إنتاج الحموض الآمينية في جو أعتبر أنه يمثل الجو البدائي وأخضع إلى انفراغات كهربائية قوية (يشابه العواصف التي كانت حينذاك عديدة وعنيفة) تمنح الأمل في فهم بدايات **الحياة** في النطاق الذي كانت تيتح فيه ملاحظة ظهور بعض الجزيئات العضوية البسيطة (حموض آمينية) في خليط خامل. إلا أن الجو الأرضي في ذلك العهد، وهذا ما نعرفه الآن، كان فقيراً بالميتان، وغنياً بالغاز الكاربوني، جاعلاً بذلك هذا النوع من السناريو قليل الإحتمال، فيما بعد بقليل افترض فرانسيس كريك وفريد هويل أن الحياة ربما لا تكون قد ولدت على الأرض بل كانت قد جلبت من الخارج، بواسطة بعض الجرائيم المحتواة في الأحجار النيزكية؛ وكانت هذه الفرضية تعتمد على ملاحظة بعض الجزيئات العضوية البسيطة التي كُشفت في تحليل طيوف امتصاص غبار ما بين النجوم كما في بنية الصور المجهرية لبعض الأحجار النيزكية، التي تذكر بهيكل العضويات الحية المجهرية. وقد اعترف أنطوان دانشان في الوقت الذي تقدم فيه بفرضية معقولة تقول بأن الحياة ربما تكون قد ظهرت بدءاً من كون معدني، أن مسألة بداية الحياة «تظل موجودة بالفعل بقدر ما هي غير مفهومة». وكل السيناريوهات التي وفقها ربما تكون الجزيئات الأولى التي تتنسخ ذاتياً قد ظهرت بمحض الصدفة، سواء أكان ذلك على الأرض أو في وسط ماكوني، غير مرضية؛ إن النسوم التي يمثلها بالنسبة لميكانيكيات تنسخ الأولى معظمُ الجزيئات العضوية التي ربما تكون قد تشكلت في الشروط نفسها ربما كان يجب أن تقتل الحياة منذ المراحل الأولى التي تم اختيارها... فالجزيئات الحية الأولى انتمت على ما يحتمل إلى صنف الحموض النووية (فكرة اقترحها في البداية فويز وأوجيل) بدلاً من أن تنتمي إلى صنف الحموض الآمينية والبروتينات. وقد يسرت هذه الفرضية بملاحظة قطعة ARN ريبوزومية من نوع Tetra hymena Pyrifornis وهو حيوان أولي بدائي وحيد الخلية، يملك قبلاً خواص تحفيزية كان يعتقد حتى الوقت الحاضر أنها مقصورة على

الأنزيمات. فهل يجب ربط بداية الحياة بالحموض النووية أو بالبروتينات؟ إن النقاش كما قد لاحظ ذلك أيضاً دانشان يشبه شبهاً قوياً، المسألة القديمة حول أولوية البضية أو الدجاجة. ويميل الجواب الآن بالأحرى نحو الحموض النووية، لكن لا شيء قد بُتّ بعدُ بشكل نهائي.

* *
*

إن هذه اللمحة العاجلة عن طبيعة بداية الحياة تيتح التحقق مرة أخرى أن المسائل الكبرى باقية بلا تغير، في الوقت الذي تتنقى في العبارات. والتفكير الراهن حول طبيعة الحياة يحيل بإصرار إلى أسئلة أرسطو القديمة التي كانت تؤكد قبلاً، منذ مضي عشرين قرناً أهمية التنظيم كمعيار مميز للحي، إلى حد مماثلة **الروح** التي تحرك المادة العاطلة كي تمنحها الحياة **بالتنظيم** الحميم للحياة. وكما قد لاحظ ذلك غيديس، إن مثل هذه الأطروحة قريبة بشكل مرموق من التصورات الحديثة، مهما كان قليلاً ابدالنا الروح الأرسطوطاليسية بالإعلام.

لكن التنظيم ينبني خطوة فخطوة، مع مرور الزمن، فالزمن يلعب والحالة هذه دوراً أساسياً ونشيطاً في تطور الأنواع ونماء الأفراد. من هذا القبيل، لا يمكن لأي تعريف إجرائي للحي أن يكون مُعطىً إذا لم يكن مشتملاً على بعد زماني خاص، ومثل هذا البعد لا يكون حاضراً بوضوح في تفكير جاك مونو مثلاً وهذا على ما يحتمل ما يكون هشاشته. وأكثر من العالم المعدني وعلى ما يحتمل بطريقة مختلفة كيفياً، يوجد العالم تحت سلطان الزمان. إنه عالم اهتزازات كعالم الذرات، لكن اهتزازاته لا تعين وحسب السويات الطاقية، بل الطبيعة ذاتها، أو الأصح طراز وجود المواضيع المعتبرة. عالم، فوق ذلك، تنسج فيه الإهتزازات شبكة معقدة من الإتصالات المتبادلة، من التضامنات، من التجاوبات مع إيقاعات الواحدات الحية المجاورة أو مع الإيقاعات الخارجية. لقد أتت لحظة التثبت من أن الزمان لا يلعب وحسب دوراً أولياً في بناء الحياة، بل ومن أن الإيقاعات تكون لازمة أيضاً للإبقاء على الحياة في تعبيرها العادي وفي وظائفها اليومية.

الفصل السابع عشر

الحيـــــاة،

حزمة من الحلقات المتحابكة (المتشابكة)

إن الشروط الصارمة اللازمة لحلول الحياة والحفاظ عليها تجعل منها نوعاً من «المعجزة الدائمة»، جُعلت ممكنة بظهور، ثم تهذيب كل أنواع الميكانيكيات الخاصة بالإشراف السيبيرنيتيكي cybernetique على شروط الوسط الداخلي. والحياة موسومة بجهد مستمر من أجل التصدي لتغيرات الوسط الخارجي، والإبقاء على شروط الوسط الداخلي ثابتة. والموجود الحي كسب، بواسطة ميكانيكيات التنظيم هذه، بالتدريج، الإستقلال الذاتي وطول العمر الضروري للبقيا بعد اضطربات الطبيعة الدورية. لقد تعلم أن يقاوم توالي النهار والليل، والإضطربات الكارثية وغير المتوقعة، كالقحط أو فقدان غذاء بشكل فظ، مع ذلك لم تفرض هذه الملاحظات نفسها على الذهن إلا بشكل متأخر جداً: فمفهوم الاستتبات أدخله في البيولوجيا وولتر كانّون في عام ١٩٢٦. وهذا القرب النسبي في الزمان لم يتح للعلم اكتساب الابتعاد الضروري من أجل التأكد من أن الإستتاب ليس في معظم الأحيان غير مشهد إجمالي لشبكة حلقات معقدة جداً تترجم بتذبذبات (نوسانات) إيقاعية لمعظم المعالم parametres الحيوية.

من الإستتاب إلى الزمانيات الحيوية (الحيزامانيات)

الإستتباب هو المبدأ الذي وفقه تضبط العضوية الحية وسطها الداخلي، بحيث يُبقي على عوامله الرئيسية ثابتة: درجة حرارة، تركيز مختلف المواد الكيماوية، الخ. بيد أن ثبات الوسط الداخلي هذا ليس صحيحاً إلا بتقريب أول.

لنتفحص حالة قطعة صغيرة من معاء. للوهلة الأولى، يبقى مشهده هو هو على مر الساعات والأيام. وتكشف لنا ملاحظة متأنية أكثر عملاً لا ينقطع يجري تحت هذا الثبات الظاهر، إنه يظهر أن الخلايا التي تغطي هذا الحاجز الداخلي للعضو، مبدية زغابات عديدة وعميقة، تكون خاضعة باستمرار لاستبدالات: فالخلايا الواقعة في ذروة هذه الزغابات تزول بموت طبيعي أو تنتزع بعبور الأغذية المعائي. وتكون معوضة باستمرار بخلايا جديدة، تنتج من الإنقسام الخلوي في قاع الخبايا وتهاجر نحو ذروة الزغابات، ويكون التعويض في غضون حياة البلوغ دائماً وكلياً وسريعاً نسبياً، إذا ما فكرنا بأن خلايا الخبايا تعاني وسطياً انقساماً واحداً في اليوم.

يروي، آلان وينبيرغ، أحد الطليعيين الفرنسيين في حقل البحث هذا الذي يدل عليه بعبارة الحيزامانيات، في أحد أوائل مؤلفاته دهشته عندما اكتشف هو ومعاونوه التغيرات الدورية لمحتوى الأبوال بالأملاح، وبخاصة تغيرات شاردة البوتاسيوم. «كانت دهشتنا أمام هذه النتيجة كبيرة. فلا أحد كان قد تحدث إلينا أبداً، في غضون دراستنا الجامعية، سواء في **كلية العلوم** كما في **كلية الطب**، عن هذه التغيرات الإيقاعية. على العكس، كان التعليم الذي كنت اتلقاه يتيح لي أن أعتقد أن مجموعة من المنظومات العصبية-الصماوية تعمل في العضوية بحيث تبقي على الأوساط الخلوية وخارج الخلوية ثابتة». وقد اكتُشف منذ عدة عقود من جديد، أن الإستتبابات ليست سوى مشهد إجمالي للأشياء وأنه على السوية الموضعية تعاني پارامترات كثيرة تغيرات موقَّعة. فالموجودات الحية ترتبط والحالة هذه بشبكة معقدة جداً من الدورات (الحلقات)، التي تترجم بنوسات (ذبذبات) منتظمة. وتحلل السكر وانقسام الخلايا الفتيلي (تفتل الخلايا) وتفتل الزغابات المعوية ليسا سوى مثالين من بين عدد وافر من الأمثلة.

لكثير من بين هذه الإيقاعات دور يقرب من ٢٤ ساعة. لهذا السبب، تدعى دورات يومياوية، ولأخرى إيقاعات تقرب من سنة: وتدعى دورات عاماوية. ولأخرى في النهاية إيقاعات متسوطة؛ دورة الخصوبة لدَى المرأة مثلاً، التي تكون قريبة من دور دوران القمر.

إن الموجودات البدائية البدائية النواة (محرومة النواة)، رغم بساطتها، تظهر قبلاً إيقاعات يومياوية، مع أن الأدبيات بهذا الصدد لم تكن بعدُ وافرة بما يكفي وأن الملاحظات ربما تستحق أن تكون مؤكدة. وعلينا أن نلاحظ أن هذه الأنواع البدائية تعرف على الأقل نشاطاً بالضبط موقّع: نشاط توالدها، الذي يتم بانقسام بسيط، على فترات منتظمة تقريباً.

لدى البروتستات (وهي موجودات وحيدة الخلية مزودة بنواة تبدي تعقيداً داخلياً كبيراً)، نستطيع أن نميز بوضوح بعض النشاطات المضبوطة الإيقاع حسب توالي النهار والليل. وحالة السوطيات الثنائية من نوع **غونيولاكس پوليدرا** دُرست جيداً. هذه العضويات المجهرية مسؤولة عن بصيص العوالق البحرية. إنها تبدي نشاط لمعان ضوئي دورياً مرموقاً، ذا دور مدته ٢٤ ساعة. ونتأكد من أن هذا النشاط يستمر عندما نضع هذه الحيوانات في محيط ضوئي مستمر، مع أن شدة الظاهرة تتناقص بسرعة عندما تزداد سوية الإنارة المحيطة. فدور اللمعان الضوئي لهذه البوتيستات ليس والحالة هذه مرتبطاً بتعاقب النهار والليل. ففي محيط مضيء ثابت، تبتعد قيمة الدور قليلاً عن ٢٤ ساعة. وتستمر مستعمرة من هذه الحيوانات خاضعة لتوالي إضاءة وتعتيم اختل فجأة، لبعض الوقت، في متابعة الإيقاع السابق، قبل أن تتكيف مع الدورية الجديدة.

والنشاط التركيب ضوئي النباتي يكون أيضاً موقّعاً بفعل توالي النهار والليل. وتلتقط الصانعات الخضراء، في محيط ضوئي فوتونات وتستعمل طاقتها من أجل فصل جزيئات الماء إلى اكسجين (تدفعه إلى الجو) وهيدروجين تستبقيه. وتكون ذرات الهيدروجين هذه بعدئذ مركبة مع الغاز الكربوني الجوي من أجل تركيب الكاربوهيدرات التي تؤلف مادتها الخاصة. وقد لوحظت أيضاً أنماط ايقاعات يوماوية أخرى لدى النباتات.

إن الإنقسامات الفتيلية (التفتلات)، أو تكاثر الخلايا بتضاعف الكروموزومات، تتم أيضاً وفق طقس لا يتغير ومنتظم انتظاماً دقيقاً. ويبدأ، بعد

طور نشاط خلوي عادي دوره متغير، تضاعف الـ ADN المحتوى في نواة الخلية. فهذه النواةتنتفخ قليلاً، وهذه إشارة سابقة لإنطلاق التكاثر بحصر المعنى. وهذا التكاثر يجري في أطوار عديدة: الطور الأول، بدء الدور التالي، الطور التالي (في أثنائها تظهر الكروموزومات بوضوح أكثر فأكثر وتتنظم)، طور الصعود (فصل الكروموزومات إلى زمرتين وهجرة)و طور بعادي (كل زمرة كروموزومات تعيد صنع نواة منفصلة) وانقسام هيولي. والسيرورة بكاملها تستغرق قرابة ساعة (نباتات) أو نهاراً (بشر). نسبة التجدد الخلوي، التي يجب أن لا تخلط مع مدة الإنفسام الخلوي، متنوعة جداً حسب النسج: خلايا الأدمة العميقة تنقسم مرة واحدة كل أربعة أيام، الكريات الحمر تعوض كل أربعة أشهر، الخ.

الميقاتيات الهرمونية

إن الوظائف البيولوجية المرتبطة بالتكاثر وبتبادلات الطاقة المابين خلوية ليست وحدها كائنة موقّعة. فالوظائف المرتبطة بنقل مواد نشيطة أو إعلام بين أعضاء تكون أيضاً مضبوطة بإيقاعات، يكون كثير منها من نمط يومياوي. ونعرف بهذا الصدد الدور الذي تلعبه في الجسم البشري الهيرمونات التي تنتجها الغدد الصماوية وينقلها الدم نحو هدفها. والبعض، من بين أكثرها أهمية ينتجها النخامي، الذي هو غدة تقع في قاعدة الدماغ و تقع تحت إشراف شباك عصبونية. وينتج النخامي بخاصة ACTH (الهرمون الموجه لقشر الكظر) (أو هرمون موجه قشري)، على طراز يومياوي ذي نهاية عظمى بادية، لدى الإنسان، عند الفجر (ونهاية صغرى عند حلول الليل). والـ ACTH يشرف جزيئاً على نشاط الغدد الكظرية (فوق الكلوة)، المكلفة بدورها بأن تنتج القشرانيات، التي نعرف أهميتها في بنية الجسم البشري. إن النشاط المنتج للكورتيزون في بعض الأمراض الحساسية مثل الربو يشرح لماذا تحصل النوبات الأكثر تواتراً والأكثر وخامة بصورة عامة خلال الليل، في حين أن نسبة هذا الهرمون في الدم تكون في نهايتها الصغرى. فهذه

النوبات الليلية لا تكون والحالة هذه مرتبطة وحسب بالضيق النفسي، كما يُعتَقد ذلك أحياناً، إلا أن لها قاعدة فيزيولوجية اكيدة.

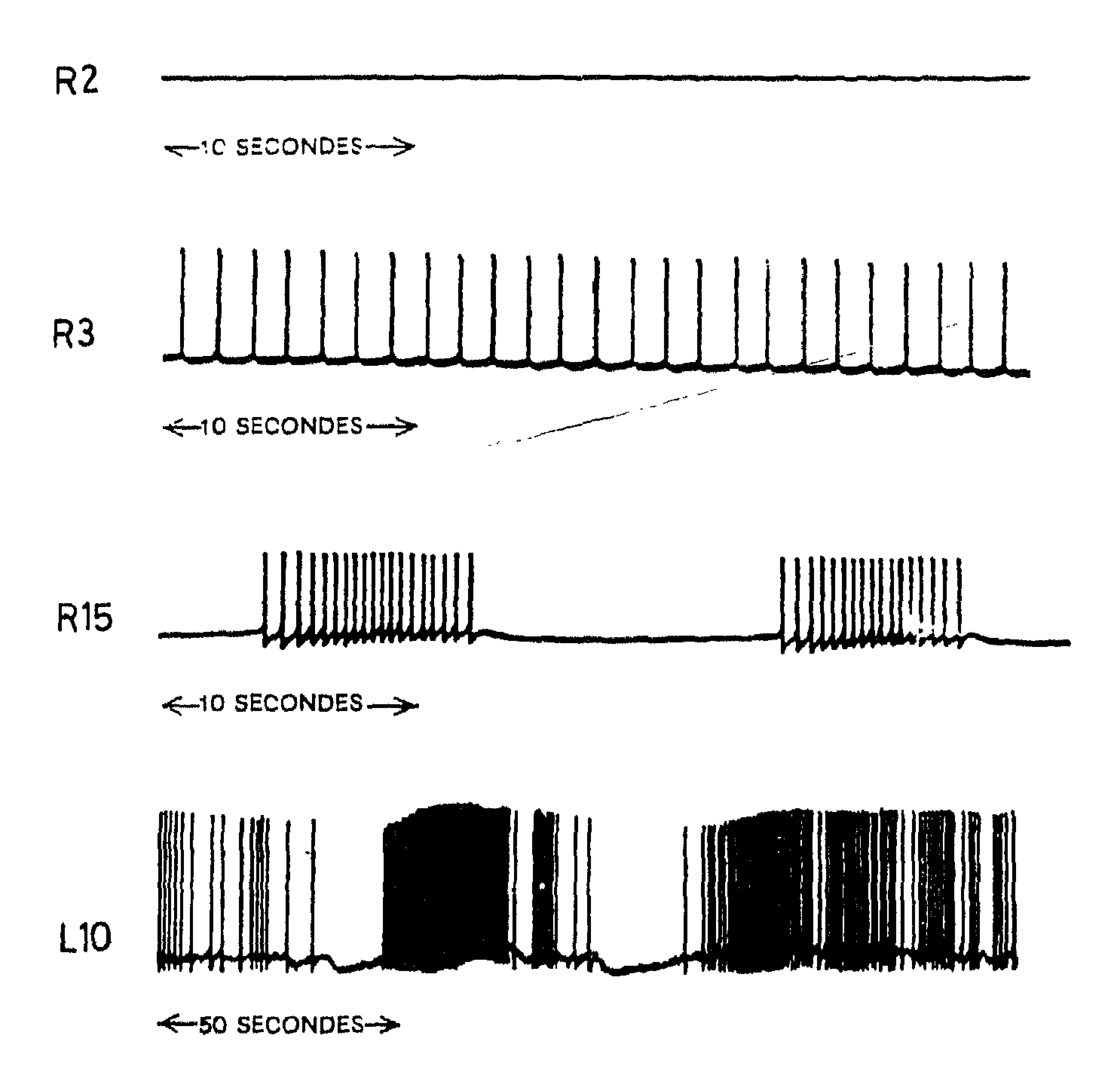
نوسانات (ذبذبات) في الجملة العصبية المركزية

إن إنتاج النخامي للهرمونات هو شكل راسلة يرسلها الدماغ إلى مختلف أعضاء الجسم تكونها الجملة العصبية. وبداهةً، هذه الجملة تكون أيضاً مقر نوسانات (ذبذبات) وإيقاعات، فالخلية العصبية الفردية تكون قبلاً من بعض النواحي مذبذبة. لنتفحص تكوين خلية عصبية نمطية. فجسمها الخلوي، ممتد بخيط طويل أو «محوار» متخصص بالنقل على بُعد للتنبيه العصبي. ويكون الجدار المحواري مجهزاً بأقنية مجهرية عديدة، تدع (حسب طبيعتها) شوارد الصوديوم أو البوتاسيوم تمر. وتكون فتحتها مُقادة بالكامن الغشائي[1]: ومنذ أن يتجاوز هذا الكامن، إثر إسهامات متلقاة على سوية الجسم الخلوي أو التغضنات[2]، عتبة معينة، تنفتح أقنية الصوديوم، تاركة وابل شوارد صوديوم تدلف وترتمي في الخلية، وبعد إبطاء طفيف، تنفتح أقنية البوتاسيوم بدورها، وتفلت الشوارد الموافقة من الخلية. ويحدد مد وجزر الشوارد هذا كامن فعل، وهذا تغير عنيف وانتقالي في كامن الغشاء يمر موضعياً، في أقل من واحد على الف من الثانية، من -٧٠م ڤ إلى + ٣٠ م ڤ قبل أن يرجع بالتدريج إلى قيمته البدئية، وتنتشر هذه الهزة الكهربائية على طول الليف المحواري: وهذا هو الجزء النشيط وذو الدلالة من التنبيه العصبي. بيد أن الغشاء الخلوي هو أيضاً مجهز بأقنية أخرى، مع ثوابت زمانية جدّ أبطأ. بعضها، وهي نفوذة لشوارد البوتاسيوم، تتيح لهذه الشوارد أن تنفلت في الوسط الخارجي، وبعضها الآخر، وهي نفوذة للكالسيوم، تدع بخلاف ذلك هذه الشوارد تدخل في الخلية، وتحدد لعبة هذه الأقنية البطيئة ذبذبات بدون انتشار الكامن

(١) بدقة أكبر، المقصود هو فرق كمون كهربائي بين الوسط الداخلي والوسط الخارجي للعصبون، من جهتي الحاجز الغشائي، المسبب بفرق التركيز الشاردي لمختلف الأنواع في هذين الوسطين. في حالة السكون، يكون الوسط الخارجي أغنى جداً بالشوارد C^-, Ca^{++}, Na^+، والوسط الداخلي يكون أغنى جداً بالشوارد K^+.

(٢) التغضنات تكون زوائد بشكل جذر العصبونات. وهي تتلقى المعلومة العصبية الداخلة وتنقلها إلى الجسم الخلوي.

الغشائي، ذات دور يمكن أن يبلغ عشر ثوانٍ. لكن إذا ما تجاوز كامن الغشاء، في غضون الذبذبات، القيمة العتبة المميزة لانفتاح أقنية الصوديوم، فإن كامن عمل يصبح مولداً وينتشر على طول المحوار. وكوامن العمل هذه تتتابع بانتظام، متجلية الواحد بعد الآخر أو على هبات يفصلها دور الذبذبة البدئية. وتكون مثل هذه الدورات مُلاحَظة بكثرة في التسجيلات التي تتم بواسطة الكترودمجهري (مسرى كهربائي مجهري) أدخل في أو في جوار عصبون خاص. وهناك مثال معروف جيداً هو مثال العصبون R15 للعقدة العصبية للـ**آبليزي** (بزّاق بحري عصبوناته قليلة



العدد وكبيرة الحجم تجعل منه صنفاً ممتازاً بالنسبة للبحث الخاص بالبيولوجيا العصبية). إن نشاط هذا العُصبون الدوري، الذي سبق له أن غدا مرئياً عندما سجلنا نشاطه في حيوان حي وتام، يدوم عندما نعزل العقدة العصبية، وحتى عندما نعزل العصبون نفسه: فالأمر هو والحالة هذه أمر إيقاع ذاتي التولد.

نجامة وزمانيات حيوية (حيزامانيات)

إن غالبية الإيقاعات الداخلية المدروسة بالنجامة هي إيقاعات يومياوية، أي ترافق توالي الليل والنهار الطبيعي. وتكون إيقاعات أخرى عامياوية؛ وأخرى أخيراً، مثل إيقاع خصوبة المرأة، تطرح مسألة ارتباطها بالدورة القمرية التي مدتها ٢٩ يوماً ونصف، يوجد والحالة هذه ظنّ قوي بأن تكون أدوار هذه الدورات متعلقة بالدورات الفلكية. فهل تحكم النجوم الحياة ونبضاناتها، طبقاً للإعتقاد القديم.

إن فحصاً أكثر تنبها يدلنا على أنه، بصورة عامة لا تكون الإيقاعات البيولوجية متوافقة بكل دقة مع الإيقاعات الفلكية. ونتأكد من ذلك بفحصنا دوريتها في محيط متحرر من الإقسار الفلكي. ومثال دورية اللمعان لدى الغونيولاكس پوليبيورا يظهر ذلك: ففي ضوء اصطناعي ثابت، تبتعد الدورية عن الـ ٢٤ ساعة إن إيقاعاً آخر، جوهرياً بالنسبة للإنسان، هو إيقاع تتابع حالات اليقظة والنوم. وكما قد شاهدنا ذلك لدى الأشخاص المكرهين على الحياة بدون ميقاتية وبدون تماس بالخارج، تأخذ إيقاعات النوم، ودرجة حرارة الجسم، الخ، تلقائياً قيمة تختلف عن ٢٤ ساعة، وتكون بصورة عامة قريبة من ٢٥ ساعة. ويشرح هذا الفرق بين الإيقاع الفلكي والإيقاع الداخلي المنشأ لماذا نتحمل بشكل أفضل الفوارق التوقيتية في أثناء الرحلات الجوية العابرة للقارات نحو الغرب مما هو الأمر نحو الشرق، فساعة فارق توقيتي لا تحس بها العضوية لأنها تقرب ساعة النوم من اللحظة المحددة بالميقاتية الداخلية المنشأ. على العكس، عند سفر بالطائرة نحو الشرق، يقود فارق توقيتي قدره ساعة العضوية إلى فارق إضافي بالنسبة لإيقاعها الداخلي المنشأ.

من الغريب، أنه يبدو أن الإيقاع يقظة ـ نوم لدى إنسان موضوع في شروط إضاءة اصطناعية لا يدوم إلا لبعض الوقت على قيمة ٢٥ ساعة. فحين يتم العزل التام الممتد، في كهف مثلاً، نتبين أن دورة النعاس تنتقل بعد ما يقرب من اسبوعين تلقائياً «إلى الأربع الأعلى»، أي إلى ٣٣,٤ ساعة، أو العكس تنخفض إلى نصف هذه القيمة. مع ذلك، يبقى إيقاع درجة الحرارة بدور من ٢٥ ساعة. فالعضوية والحالة هذه تختار تلقائياً خطة تنظيم لايقاعاتها الداخلية المنشأ الخاصة غير تلك التي تتبناها في الضوء الطبيعي.

إن إيقاعاتنا ذات المنشأ الداخلي تكون والحالة هذه **متواقعة مع**، وليست **مأمورة** بالإيقاعات الفلكية، ويجب والحالة هذه أن تكون لها ميقاتيات خاصة بها داخلية للإشراف، فالإيقاعات الكونية تؤثر على الموجودات الحية، لكن فقط كي تقسر الإيقاعات الطبيعية أن تتقيد بها و، بلا ريب، من أجل أن تصطفي أشكال الحياة الأكثر قابلية لأن تُعاش.

ونستطيع أن نتصور تصوراً جيداً للغاية في الواقع أن الحياة تستطيع أن تتنظم تلقائياً وفق دارات أو إيقاعات ذات أدوار مختلفة، غير أن الأنواع التي تكون ميقاتياتها الداخلية متوافقة مع أو قريبة بما يكفي من الإيقاعات الفلكية هي وحدها التي كتب لها أن تبقى والتي اصطُفِيت في غضون التطور، إنها تمتلك في الواقع حسنات لا يستهان بها في النضال من أجل الحياة. ألا تتيح الإيقاعات العاموية الإنتفاع أفضل انتفاع من توالي الفصول ومن مفعولها على وفرة أو ندرة الغذاء؟ بالطريقة نفسها، يبيح إيقاع ليلي نهاري لليقظة وللنوم، لدى بعض الأنواع، نهاية عظمى من النشاط عندما تكون شروط الرؤية على أفضل ما يكون، ويتيح، لدى أنواع أخرى، الإنتفاع من سكون الطرائد الليلي من أجل مباغتتها بشكل أفضل، أخيراً، من الضروري أن تكون دورات التركيب الضوئي على وفاق أو أن تستطيع أن تتكيف مع إيقاعات الضوء الطبيعية: وكل حل آخر، إذا ما كان قد واجهته الطبيعة في غضون التطور، والحالة هذه قد حذف بسرعة.

لا نرى بوضوع ما هي الحسنة الوراثية (الجينية) التي استطاعت أن تدفع الدور الصماوي إلى أن يتوافق مع الدورة القمرية. إن الإيقاعات الصماوية الأنثوية للثدييات الأخرى من غير البشر متنوعة جداً، وفي النوع البشري، يختلف دورها كثيراً من امرأة إلى أخرى. والتطابق التقريبي بين هذه الدورة والدورة القمرية يحتمل أن يكون عرضياً. إن عشاق ضوء القمر سوف يفضلون بلا شك أن يستمروا بأن يعتقدوا العكس، أفلا يحتمل أن يكونوا على صواب!

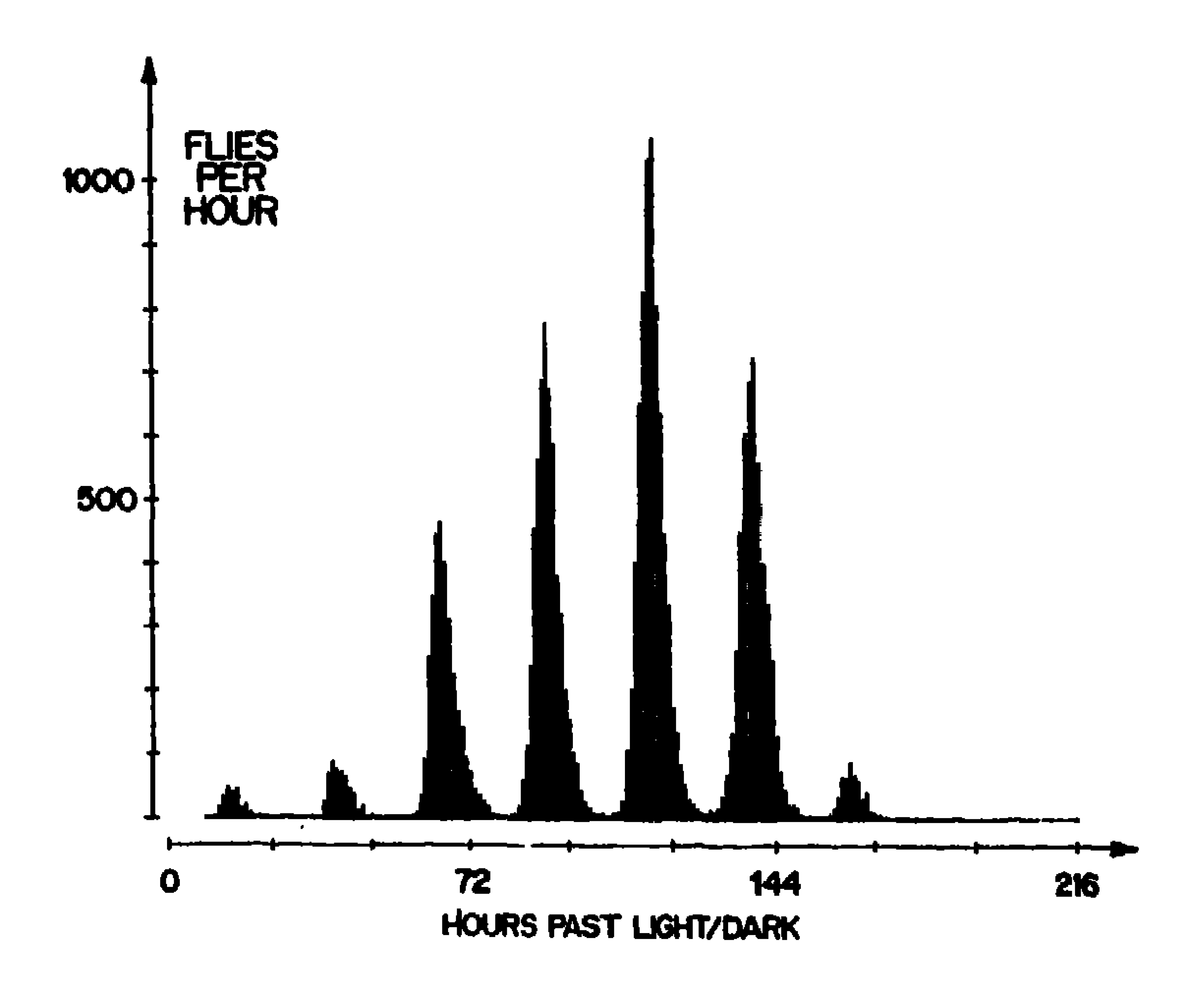
نحو موضعية الميقاتيات الداخلية

لكن أين تكون ميقاتيات الإشراف على الإيقاعات الداخلية للعضوية، وكيف تعمل؟ إن ذبابة الخل (droaophile)، المستعملة كثيراً منذ أيام توماس مورغان من أجل جميع الدراسات المورثاتية (الجينية)، تؤمن أيضاً نموذج تفضيل من أجل فهم بعض الميقاتيات داخلية المنشأ.

لدى الحشرات، كان إيقاع تفتح اليرقات قد درس بكثرة. إن يرقات ذباب الخل، عندما تكون مُربَّاة تحت إضاءة ثابتة، تستحيل إلى حوراوات (خادرات) تتفتح في أية ساعة كانت، لا على التعيين على ما يبدو. وتنتج التفتحات بشكل مستمر وغير متلاحم، خلال وقت طويل، لكن ما أن تصبح يرقاتنا في لحظة معينة مغمورة كلها معاً في العتمة التامة، حتى تتفتح الخادرات بشكل حزم مفصولة جيداً، بفاصل زماني قريب جداً من ٢٤ ساعة. بهذا الشكل تبدو الميقاتيات الداخلية لجميع اليرقات قد «عادت مضبوطة» بهذا الإجراء، في اللحظة المحددة التي نقلت فيها إلى العتمة. فكل شيء يجري، في تجارب هذا النمط، كما لو كنت شروط نضوج اليرقات تقارن باستمرار بميقاتية داخلية، ميقاتية ربما تتغير بشكل دوري، بحيث تمنح الحشرات «ترخيصات بالخروج» حقيقية.

وشكل ١٤ يجمّع نتائج أكثر من مائة تجربة مختلفة تشمل ما يقرب من أربعين ألف تفتح.

لدينا أسباب وجيهة في أن نعتقد بأن الميقاتية الداخلية التي تضبط التفتح لدى



ذباب الخل تقع في دماغها. وبالفعل، تكون المستقبلات المتحسسة للضوء التي تعين المزامنة مع الإيقاع اليومي موضعة في هذه المنطقة من الجسم، والتشوشات التي تُلاحظ أحياناً تكون دائماً مرتبطة بطفرات تؤثر على النسيج الدماغي. ويؤمن مثالاً مذهلاً على تشويش كهذا طفرةٌ نوعية لدى ذبابة **الخل ميلانو غاستر**، تنجب ذبابات ميقاتيتها الداخلية مضبوطة على دور مدته ١٩ ساعة، بدلاً من ٢٤ ساعة الإعتيادية. وقد كانت الأرومة الموافقة موضوع تربيات منهجية. وكل الأنسال تملك ميقاتية دورها القاعدي مدته ١٩ ساعة.

إن هذه الملاحظة تؤكد الأصل العصبي للميقاتية التي تضبط تفتح يرقات ذباب الخل على نمط يومياوي، بل وتدل أيضاً على منشئه العميق، إذ أن طفرة مورثاتية تكون قادرة على أن تؤثر عليه. وتبدو على هذا الحال بطريقة جدّ واضحة فكرة أن الميقاتيات التي تضبط دورات السلوك أو العمل ربما تستطيع أن تكون

مرتبطة بتعبير بعض الجينات (المورثات). وربما تكون آلياتها مندرجة في كتاب الإرث المورثاتي.

وفي حالة ذابة الخل المحددة، تلقت هذه الفرضية مؤخراً تأكيداً ساطعاً. فالمورث الذي يضبط (ينظم) التصرفات الزمانية لذبابة الخل (التي تشتمل على إيقاع تفتحاتها، ودورتها اليومياوية الخاصة بالنشاط وبالسكون، وأيضاً دورية نشيد الذكور) قد تمت موضعته وتحديد هويته. إن التقنيات الجديدة الخاصة بالمعالجة الموثاتية أتاحت أن تُحرض اصطناعياً طفرة في هذا المورث. وهذه الطفرة تعدل هذه التصرفات وأدوار إيقاعاتها. وتؤكد الدراسة أيضاً فرضية الموضعة الدماغية للميقاتية الرئيسية التي تضبط التصرفات الدورية لهذا الحيوان.

ولا شك في أن ميقاتيات مشابهة توجد أيضاً في دماغنا وتضبط إيقاعات سلوكنا اليومي. والدارات اليومياوية للهرمونات تكون تحت إشراف غدد الدماغ الصماوية، بخاصة النخامي. فالنخامي يكون منصلاً مباشرة بالوطاء، الذي هو في الوقت نفسه جزء مكمل من الجملة العصبية المركزية وغدة صماوية. ونعتقد الآن أن ميقاتية رئيسة، موضوعة في النواة فوق التصالبي للوطاء، تشرف بالفعل على الإفرازات الهومونية للنخامي، والسلوك الغذائي، وتوالي اليقظة والنوم، الخ. وربما يكون مع ذلك أمراً مغلوطاً فيه أن نستنج أنه توجد ميقاتية رئيسة وحيدة مسؤولة عن كل الدورات اليومياوية. فالأعضاء نفسها تخضع لدورات يومياوية خاصة (وهذه هي مثلاً حالة الكظر). فإنتاج السيروتينين في المشاشة يتناقص بشدة في الليل، لكننا نعلم أن هذه الغدة تكون تحت إشراف تنبيهات خارجية بالطرق البصرية. والميقاتيات اليومياوية، شأنها شأن أدوار أساسية أخرى، تبدو عديدة وموزعة في العضوية؛ بيد أنها تكون متناسقة.

* *
*

إن تنوع وعدد الدورات التي تضبط (تنظم) حياة عضوية حية لا تتيح أن ندل، بالنسبة لكل وظيفة، على ميقاتية رئيسة خاصة. وتوجد حقاً في معظم الأحيان تآزرية بين مختلف الذبذبات الحيوية، ويمثل الإبقاء على هذه التآزريات بلا شك أحد الشروط الرئيسية للإبقاء على الحياة. هكذا يُعرف، منذ أعمال عالم النفس الألماني هانس بيرجيه، في عام ١٩٢٩، أن النشاط الدماغي يترجم في معظم الأحيان على سوية جلد الرأس لا بشكل انحرافات (تموجات) مضطربة في الكامن الكهربائي، بل موجات منظمة ترى بوضوح على مخطط كهربائية الدماغ. ويكون الإيقاع «ألفا» الذي يلاحظ في حالة اليقظة الهادئة، دون أن يكون الإنتباه ملتمس بشكل خاص، مميزاً بذبذبات بالجملة في الكامن الكهربائي بتواتر قريب من ١٠ هرتز (١٠ ذبذبات في الثانية). وأصل هذه الأمواج يجب أن يبحث عنه في مزامنة ملايين وملايين العصبونات في طبقات الدماغ العميقة، على الأرجح على سوية الجسم الشبكي، والأمواج من هذا النمط تلعب على ما يحتمل دوراً مهماً في الإدراكات المتتابعة وفي تسلسلها.

نتبين والحالة هذه أن الزمان يسهم إسهاماً وثيقاً في النشاط الدماغي، وأنه يقود الدورات الهرمونية، ويفرض إيقاعات عضوية وفي النهاية يعين إيقاعات السلوك. إنه يؤثر على كل نسيج الفرد الحي، ويسهم في إبقائه قيد الحياة وفي تناسق وظائفه. بيد أن الزمان يوجه أيضاً نماء الفرد، والإعداد التدريجي، انطلاقاً من بيضة بدئية، لموجود بالغ ينتمي إلى نوع معين، بسماته الشكليائية الخاصة.

* * *

الفصل الثامن عشر

المراقبة الزمانية للنمو

إن عمارة الراموز المورثاتي لذبابة الخل البسيط نسبياً وسرعة تكاثر هذه الحشرة يجعلان منها نموذجاً ممتازاً بالنسبة للدراسات الموثاتية وللتخلق (أي نمو المضغة). إن اكتشاف المورث «per» (الدور) لدى ذبابة الخل والطفرات التي تؤثر عليها أسهمت إسهاماً كبيراً في إظهار أن السمة الإيقاعية للتفتحات مندرجة في إرث هذا الحيون المورثاتي. لكن أليس للزمن وظائف أخرى مهمة، علاقات أخرى بالراموز الموثاتي وتعبيره في فرد؟ في الواقع لا يجري نماء مضع الموجودات الحية وحسب **في** الزمان، لكن الزمان نفسه يقود، بشكل من الأشكال، قدرها النهائي، وقبل مقاربة هذه المسألة، يجدر أولاً أن نصف أو نذكر بإيجاز بقواعد هذا الراموز الأساسية.

المبادىء الأساسية للبرنامج المورثاتي

في حوالي عام ١٩٥٠، كان قد سبق أن عُرف وجود حمض الديوكسي ريبونوكلئيك (ADN)، في نُوى الخلايا، وكنا نعلم أنه كان يحتوي على تجميعات مكررة من أربع جزيئات منترجة: الآدينين (A)، التيمين (T)، الغوانين (G) والسيتوزين (C). لكننا كنا لا نزال نجهل أن التسلسل الدقيق لهذه الأسس في الـ ADN كان يشكل الإرث المورثاتي. إن الدراسات الانعراجية بواسطة أشعة × لجزيئات الـ ADN لبعض الفيروسات، التي قادها بخاصة روز اليند فرانكلان وموريس ويلكينز في لندن، والملاحظات الجوهرية التي قام بها في تلك السنة إيروين شارغاف عن المساواة الكلية لفحوها بالآدينين وبالتمين من جهة، وبالفوانين

والسيتوزين من الجهة الأخرى، أتاحت لجامس واستسون وفرانسيس كريك، في عام ١٩٥٣، ايضاح البنية الكيميائية الفراغية لهذا الجزيء. ودفعة واحدة أتاحت لهما أن يفهما أيضاً الميكانيكيات التي بها يتنسخ الـ ADN (في غضون الإنقسام الخلوي) ويستعمل من أجل صنع البروتينات.

إن الـ ADN مكون من لولب (حلزون) مزدوج، كل خيط من خيوطه مكون من سلسلة جزيئات من حمض فوسفوري أو ديزوكسيريبوز. هذه الصقالة الخارجية تمنح الـ ADN مقاومة ممتازة (مثلاً، تكون مُحافَظاً عليها في خلايا المومياءات المصرية)، في الوقت الذي تترك له مرونة كافية كي تتيح له أن يلتف على نفسه في الكروموزومات[1]. في كل جذر من الديزوكسيريبوز يكون أيضاً مرتبطاً، نحو داخل اللولب، هذا أو ذاك من الأسس الأربع (A,T,G,C). وكل واحد من هذه الأسس يكون مقترناً بالأساس الذي يواجهه، المرتبط بالجذور السكرياتية للولب الآخر[2]. وصورة ممتازة على سلمنا للبنية المجهرية للـ ADN يؤمنها الدرج الحجري الجميل المزدوج اللولبية لقصر شامبور. في الـ ADN، تكون الصقالة الخارجية مكونة بالديزوكسيريبور وبالحمض الفوسفوري، ودرجات الدرج بالأزواج ذات الأساس G - C و A - T .

عند حصول التنسخ الخلوي، يكون الـ ADN مزال الإلتواء ويكون السلكان مفصولين بفعل الأنزيم النوعي، ويدع انفتاح السلكين بادياً تسلسل الأسس الملاصقة لكل سلك، كتسلسل الحروف في الأبجدية ذات الأربع إشارات، ويشكل هذا التسلسل كلمة أو جملة تحتوي على وصفة صنع البروتين المرمز في المورث المعتبر.

---

(١) إن كروموزوم، لا يتجاوز طوله واحداً من مائة من المم، يحتوي بسهولة على أكثر من عشر سنتيمترات خطية من الـ ADN ! ومن المهم أن نلاحظ أيضاً أن الـ ADN بالإضافة إلى التفافه، يكون في معظم الأحيان ملتوياً، على شاكلة خيط منفتل ينزع إلى أن ينطوي على نفسه. وهذا الإلتواء يمنع بشكل طبيعي انفصال خيطي (سلكي) اللولب: في لحظة التنسخ يكون مرتخياً بفضل نشاط انزيم نوعي.

(٢) هذه الخاصية تشرح ملاحظة شارغاف. فالادينين المحمول بسلك اللولب المزدوج يقترن بصورة استثنائية مع التيمين، المحمول بالسلك الآخر، والغوانين مع السيتوزين. وهذه الإقترانات الإستثنائية جعلت ممكنة بواسطة تتامية أشكال هذه الجزيئات، التي تتيح إقامة «جسور هيدروجين من أحدهما إلى الآخر».

من الـ ADN إلى البروتينات

نعرف أيضاً كيف يتم واقعياً هذا الصنع. يوجد أولاً طور انتساخ. وبعد فتح وفصل سلكي اللولب، يكون تسلسل الأسس المرمزة بالنسبة لبروتين («مورثة») معرضاً للوسط الخارجي. ويأتي حينذاك ليلتصق على كل أساس من الأسس، أساس متمم، بحيث يحصل بالتدريج تشكيل نسخة «سلبية» للمورث الأصلي؛ والجزيء المقابل أو الحمض الريبونيكلي الرسول (ARN) ينفصل عن حامله ويهاجر نحو «الريبوزومات»، وهي مصانع معالجة من الباطن موزعة في الخلية. حينذاك يبدأ طور الترجمة. والريبوزومات لا تتلقى وحسب الـ ADN الرسل، بل وأيضاً جزيئات أخرى منخصصة من الحموض النووية (الـADN الناقلة) التي يرتبط بها جزيئات الحموض الآمينية، التي هي لبنات حقيقية صنعت منها البروتينات. وفي الريبوزمات، كل زمرة من ثلاثة أسس مُتَرْجة يقدمها الـADN الرسول تحرض انضمام حمض آميني خاص إلى البروتيني الوليد. على هذا الحال كل زمرة من ثلاثة حروف من الأبجدية النووية تكون «مترجمة» بحرف من الأبجدية البروتينية، المكونة من الأنماط المختلفة العشرين من الحموض الآمينية.

يجب أن نلاحظ بالمناسبة عنصراً مفتاحياً في الزمانية المورثاتية: من أجل أن يستطيع مورث أن يتوضح ويستطيع جزيء بروتيني أن يكون مصنوعاً، يلزم أولاً أن تكون قطعة الـ ADN المقابلة مزالة الإلتواء وأن يكون سلكا الـ ADN مفصولين. وتكون هذه العمليات تحت إشراف انزيمات نوعية، هي نفسها مؤلفة بدءاً من تعليمات مورثاتية: كما لو كانت طريقة قراءة كتاب ضخم، تجب قراءته بنوبة غير تسلسلية، توجد هي ذاتها مندرجة في جزء من أجزاء المؤلف، في المدخل مثلاً، ففتح وغلق مختلف الفصول يكونان مقادين بمجموعة من المورثات المنظّمة، يكون تناغمها الزماني الوثيق أساسياً.

جينات (مورثات) النماء

إن النجاح الكبير الذي صادفه نموذج ذبابة الخل من أجل أن تقام، في مطلع

هذا القرن، أسس علم المورثات الحديث - بخاصة فيما يتعلق بالطفرات المورثاتية - لم يلق ما ينفيه عندما كان المُراد، في هذه الأعوام الأخيرة، أن يستكشف كلياً أكثر الراموز المورثاتي في بعده الزماني، بصورة خاصة دوره في التفريق الخلوي والتخلّق.

وبفضل هذه الدراسات، نعلم الآن أنه يوجد فعلاً، في العضوية، جينات (مورثات) نماء تشرف وتثبط أو تنشط على مراحل مختلفة من النماء تعبير جينات أخرى تصنع البروتينات البنيوية أو غيرها. وفي المضغة، هذا الإشراف الزماني للتعبير المورثاتي يحدد الأنسال، أي التي توجه قدر خلف الخلايا نحو تشكيل نسج نوعية للأعضاء. وبفضل مورثات النماء ينطلق تعبير مورثات أخرى، ثم يكظم في بعض الأدوار المعينة جيداً من التكون الفردي.

ونميز، لدى الحشرات، ثلاثة أنماط من مورثات النماء: المورثات ذات المفعول الأمومي، ومورثات التقطع وأخيراً المورثات المثلية التي سوف يجري الحديث عنها بخاصة.

ونميز، لدى الحشرات، ثلاثة أنماط من مورثات النماء: المورثات ذات المفعول الأمومي، ومورثات التقطع وأخيراً المورثات المثلية التي سوف يجري الحديث عنها بخاصة.

إن **المورثات ذات المفعول الأمومي**، الحاضرة في البيضة قبل الإلقاح، تعين توجهاً عاماً لها، «**تقاطبها**». وقد أوضح دور هذه المورثات بملاحظة الطفرات التي تقود إلى مسوخ تمتلك رأسين متلاصقين، دون جزء خلفي، أو بطنين بلا رأس، وتلاحظ هذه الطفرات عندما يكون التقاطب قد دمر أو يكون تعبير المورثات الذي يعينه قد منع في البداية من النماء.

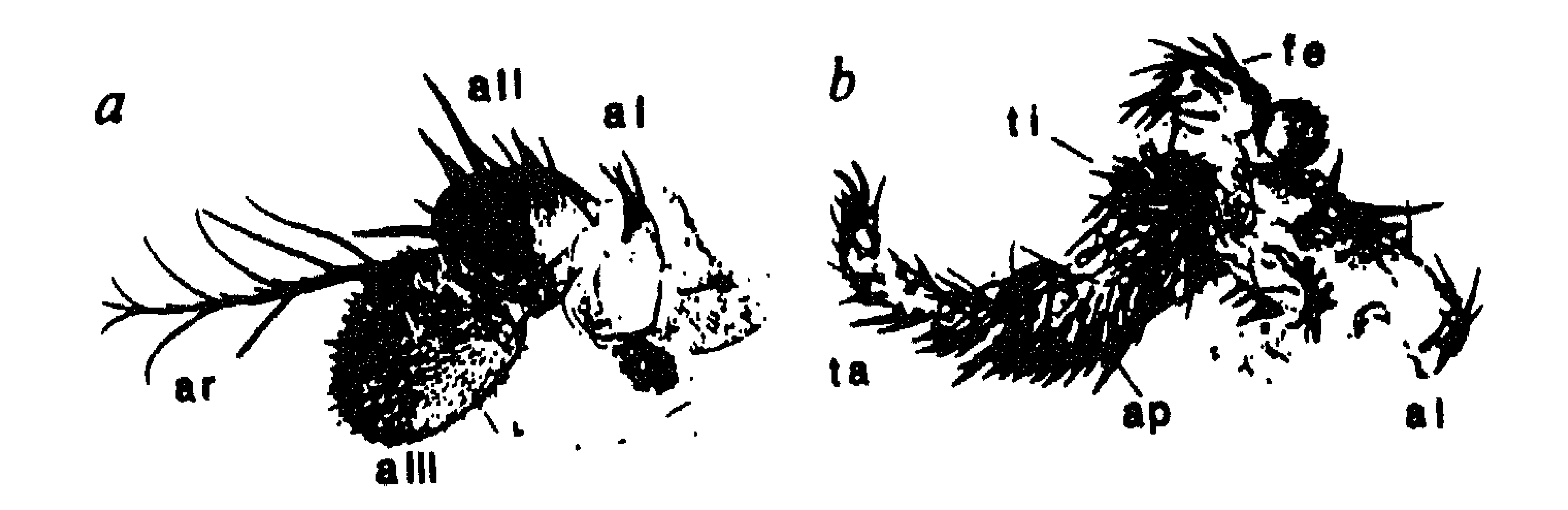
ومورثات التقطيع تعين، منذ ظهورها اليرقي، لدى الحيوانات، ظهور عدد معين من القطع. فلدى ذبابة الخل مثلاً، تظهر القطع الفكية السفلية، والفكية العلوية، والشفوية التي تشكل الرأس، ومقدم الصدر، وأوسط الصدر، وتالي

الصدر التي تشكل الصدر، وأخيراً القطع البطنية الثمان. وبعض الطفرات التي تؤثر على المورثات التقطيعية تترجم بحذف بعض القطع.

أخيراً، يكون الصنف الثالث من مورثات النماء مكوناً من **المورثات المثلية**، التي تحدد طبيعة كل قطعة من هذه القطع. ويأتي إسم هذه المورثات بالتدقيق من حيث أن الطفرات التي تؤثر عليها تقود إلى ظهور قطع أخرى (homo - eo) في قطعة من أعضاء أو نُسج نوعية بشكل طبيعي. وللطفرات التي تؤثر على هذه المورثات عواقب ملفتة للإنتباه لأنها تنجب مسوخاً تملك مثلاً قوائم زائدة في موضع الجسم الذي تنبت فيه بشكل طبيعي قرون هذا الحيوان الإستشعارية.

لدى ذبابة الخل، كان قد درس بخاصة معقدان مورثاتيان مثليان: معقد Antennapedia (Ant-c) ومعقد Bithorax (BX-C). هذان المعقدان موضعان على الذراع اليمنى للكروموزوم الثالث للحشرة. وتعين الطفرات التي تؤثر على هذه المورثات تفريقاً غير سوي للرأس أو للقطع الأمامية (إذا كان الأمر يتعلق بطفرات تؤثر على ANT - C، أو للقطع الصدرية أو البطنية (إذا أثرت على المعقد BX-C). وقد كان ممكناً، بواسطة تقنيات المعالجة المورثاتية، تحريض ظهور طافرات تمتلك مورثات +Antp، مع محضِّض خاص نستطيع أن ننشطه بصدمة حرارية. وإذا لم يكن المحضض قد نُشِّط (فُعِّل)، فإن اليرقات التي تملك هذا المجين تنجب ذباباً سويا في حالة البلوغ. لكن إذا طبقنا على اليرقات، في مرحلة بدائية من نمائها، صدمة حرارية تفعِّل المحضِّض، فحينذاك تكون البروتينات المقابلة للمورث Antp منتجة بشكل زائد. وسوف تحمل الحيوانات البالغة حينذاك أقداماً في مكان الأنتينات: والزائدة المميزة لقطعة خلفية سوف تكون قد حلت محل القطة التي تميز قطعة أمامية.

إن المورثات المثلية لذبابة الخل تعين والحالة هذه جيداً عمارة الحيوان البالغ. ونفهم من الآن وصاعداً، كيف أن طفرة وحيدة، تتناول مورثات من هذا النمط،



تستطيع أن تحرض إعادة تنظيم كبيرة للجسم. والحق يقال، كان قد سبق أن أصبحنا نعرف طفرات لبعض الرخويات، تنطوي قواقعها في اتجاه معاكس للإتجاه الإعتيادي. وقد أخبر أيضاً عن وجود طفرة لدى البشر، تدعى situs in versus مواضع مقلوبة، تسبب قلباً تاماً للتناظر يمين-يسار: فالقلب يكون موضوعاً إلى اليمن والكبد إلى اليسار، وتلتف الأمعاء في اتجاه معاكس للإتجاه الإعتيادي، الخ. لكننا لا نصادف لدى الإنسان طفرات عضوية كبرى (كظهور ساق في مواضع وأماكن ذارع) ربما سوف تكون مشابهة للطفرات التي تؤثر على المورثات المثلية لدى ذبابة الخل: إن مخطط تنظيم العضويات العليا لا يتبع على ما يحتمل، في غضون الحياة المضغية، تخطيطة التقطيع التي شوهدت لدى الحشرات.

بنية المورثات المثلية

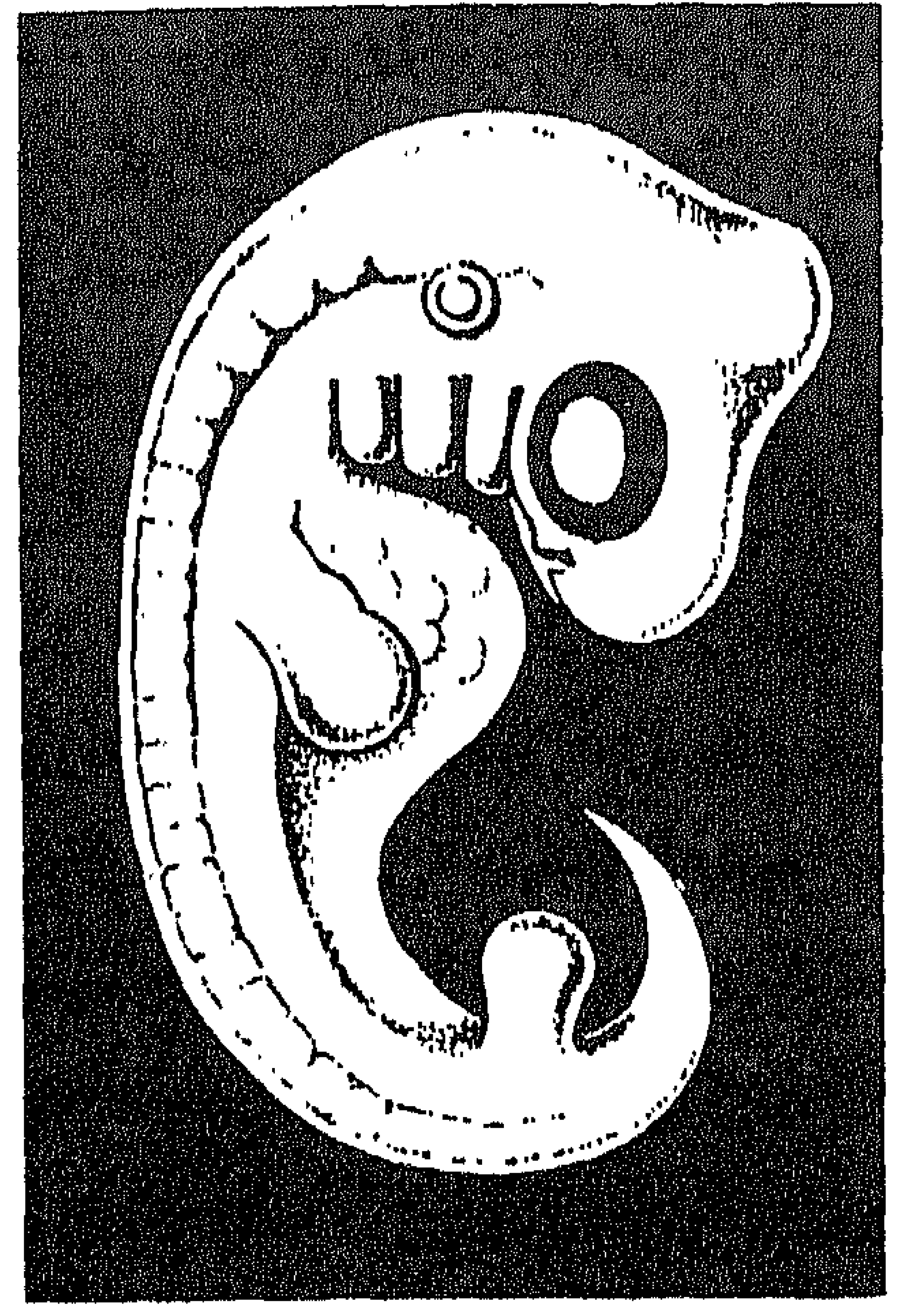
يظهر إنشاء الخارطة الجزيئية للمورثات المثلية أن هذه المورثات تتعلق بتسلسلات ADN قصيرة (قطع مفتاحية)، نعثر عليها بعينها أو بالتقريب في عدة مناطق من المعقدَّين ANT - C و BX-C. هذه القطع التي تشتمل على حوالي ١٨٠ أساس نووي، تحتوي راموز صنع پروتين وحموضها الآمينية الستين. وقد تلقت هذه القطع اسم «العُلب المثليـة homeoboites». وهي المنظمات المكان زمانية

للتعبير الوراثي، مع أن ميكانيكية عملها لا تكون بعدُ مفهومه جيداً. ويُعتقد أنها تقود تركيب البروتينات التي تعين أو تمنع، وهي تتحد مع بعض أجزاء الـ ADN، تنفيذ البرامج المقابلة لهذه الأجزاء، وفق تخطيطه الإشراف العامة للتعبير الوراثي التي اكتشفها جاك مونو وعرفت بعدئذ باسم المشاغل operons.

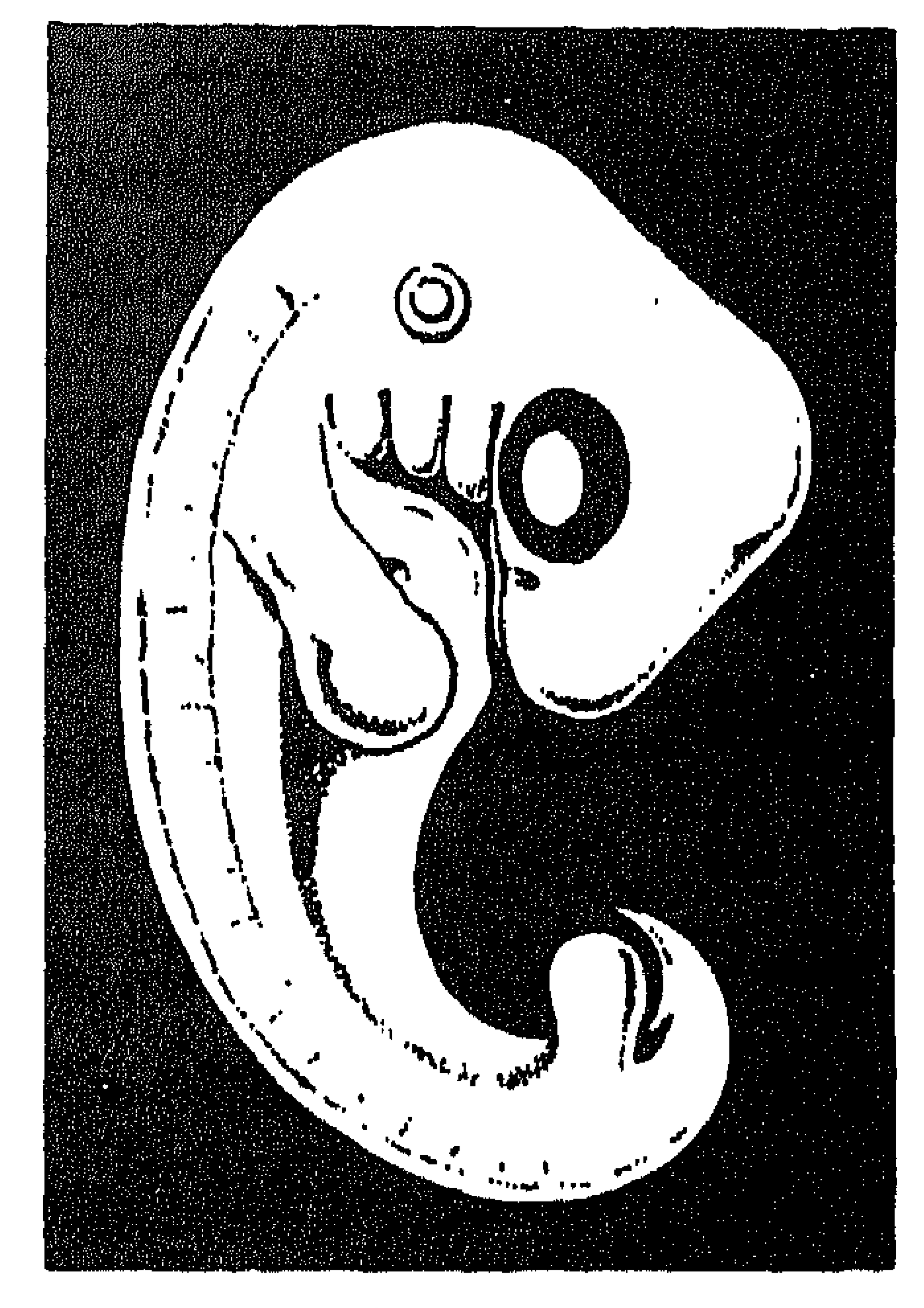
إن وولتر جيهرنغ ومساعدوه، لارتيابهم بأن العلب المثلية بإمكانها أن تكون قطعاً مفتاحية (رئيسية) من المراقبة الزمانية للتعبير المورثاتي، سعوا لتحديد ما إذا كانت متتاليات مماثلة أو قريبة من العلب المثلية مكتشفة لدى ذبابة الخل غير موجودة لدى أنواع أخرى. وقد بُدِيء بناء على ذلك بكل منطقية بالبحث لدى حشرات أخرى ولدى بعض الديدان المعتبرة على أنها أسلاف للحشرات، وبعدئذ لدى بعض الفقاريات. باغت الباحثين، أن اكتشفوا أن العلب المثلية كانت توجد أيضاً لدى الضفدعيات، بدرجة مشابهة مذهلة بالنسبة لعلب ذبابة الخل المثلية: ٥٩ من ٦٠ حمض آميني من البروتين المرمز بهذه العلب المثلية تكون متماثلة وفي الموضع نفسه لدى النوعين! وقد اكتشفت أيضاً مورثات مشابهة لدى الفأر، وأخيراً لدى الإنسان. وقد حقق، في عام ١٩٨٨، التحليل التام لـ٢٩ علبة مثلية مختلفة، توجد عشرة منها لدى ذبابة الخل و١٩ لدى أنواع أخرى. إن علبة المورث Antp المثلية لذبابة الخل وتلك التي يُدل عليها بـ C_1 لدى الإنسان ذات درجة تماثل تبلغ ٨٦٪ على سوية متوالية القواعد النواتية، و٩٨٪ (٥٩/ ٦٠) على سوية البروتين. ويوحي هذا التشابه بأن العلب المثلية تلعب دوراً مهما بما يكفي من أجل أن تكون قد حفظت عملياً دون تعديل في غضون التطور كله. إن جميع العلب المثلية التي تحدثنا عنها حتى الآن تتعلق بالأنواع ذات الأجسام المتقطعة إلى أجزاء متماثلة (ولدى الفقاريات، يمكن أن تتقابل هذه القطع مع الفقرات)، بيد أننا اكتشفنا مؤخراً علبة مثلية لدى نوع توتياء بحر، لا تبدي عضويتها أي تقطيع ظاهر. ويمكن والحالة هذه أن يكون للعلب المثلية. في المراقبة الزمنية للتعبير المورثاتي والتخلق (التكون التشكيلي)، دور أعم من تحديد مصير مختلف قطع الجسم.

ومع أن جميع البداهات الملتمسة ما زالت لم تجمع بعد، يبدو أن العلب المثلية

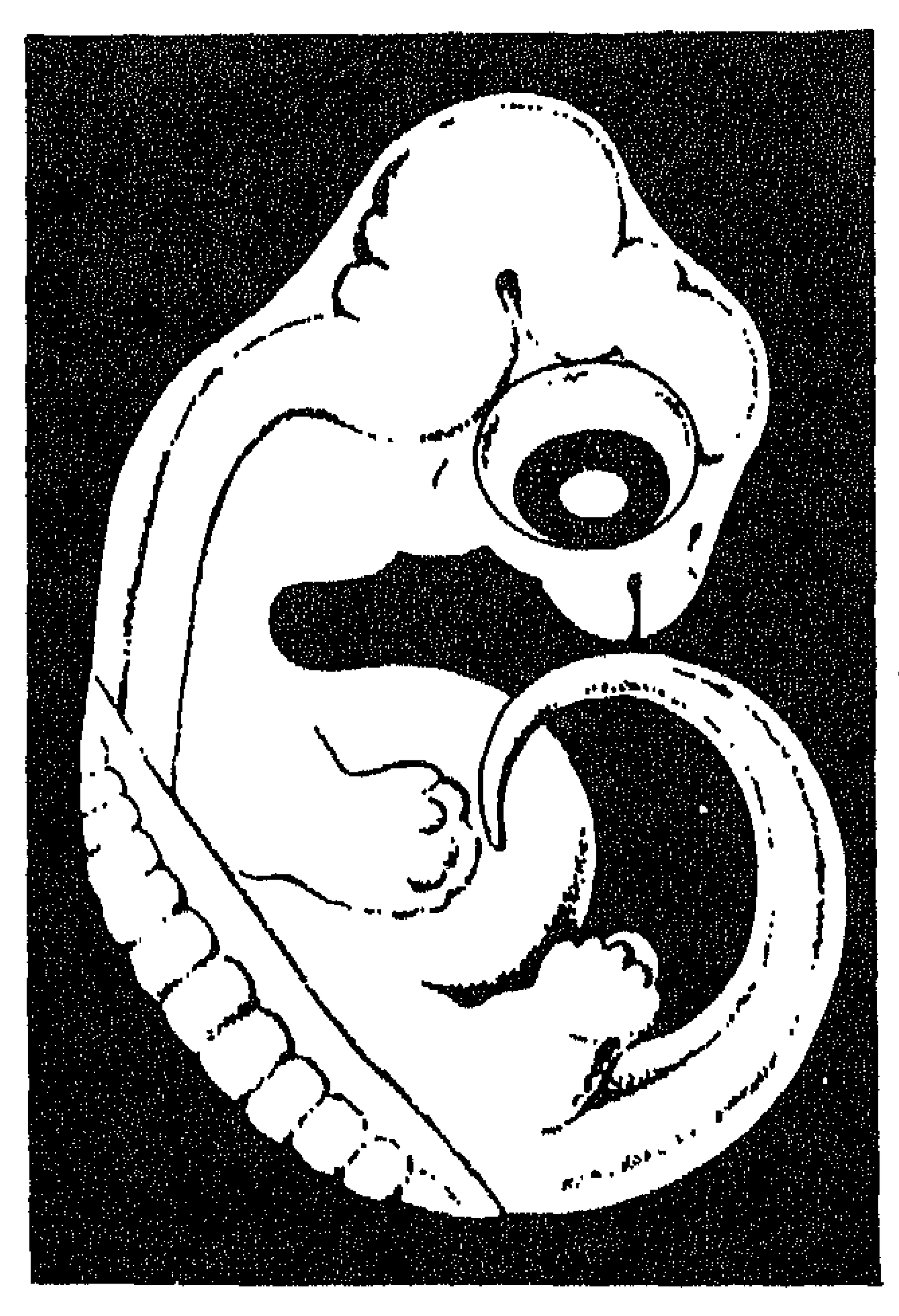
TORTUE **POULE**



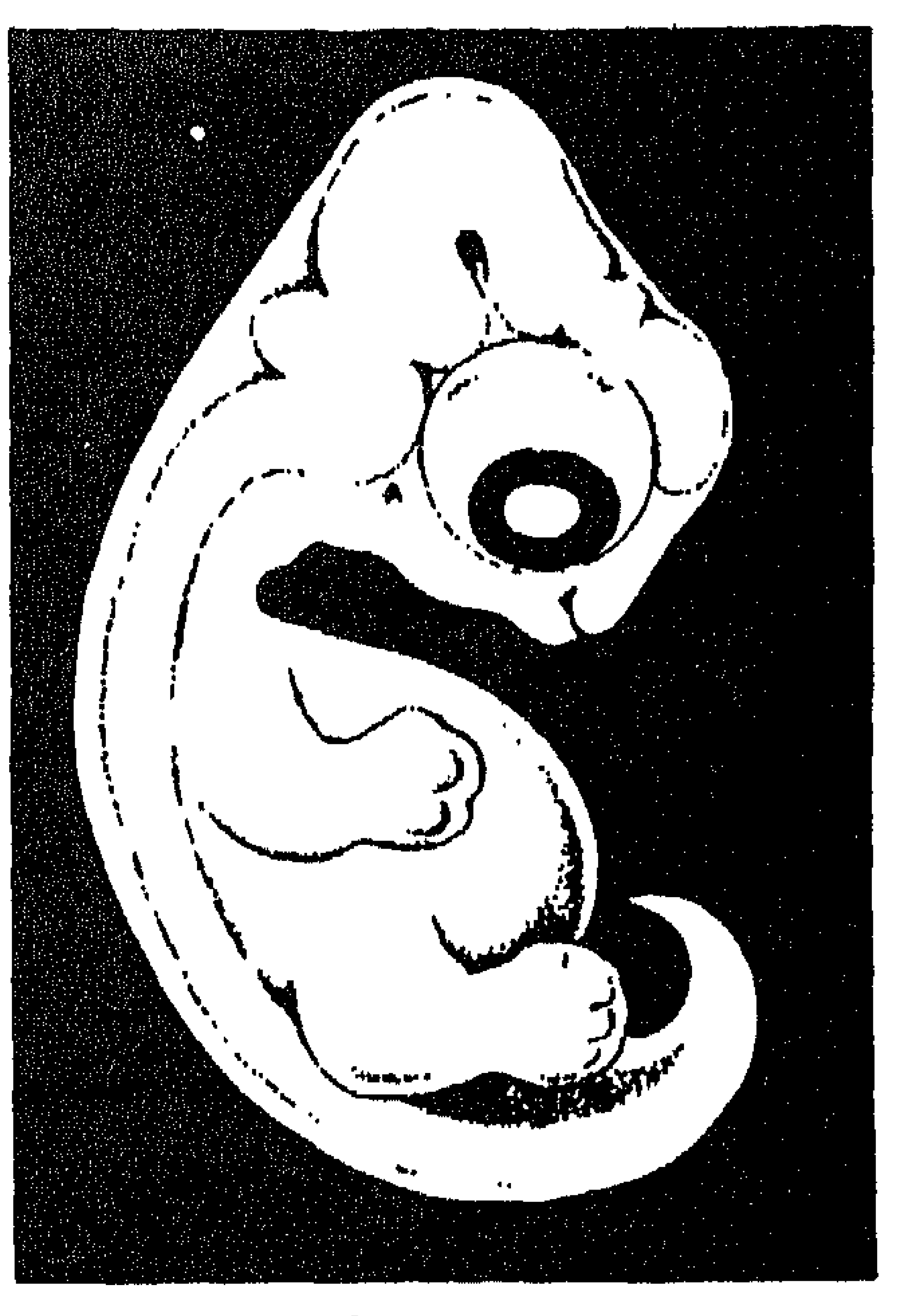
4ème semaine



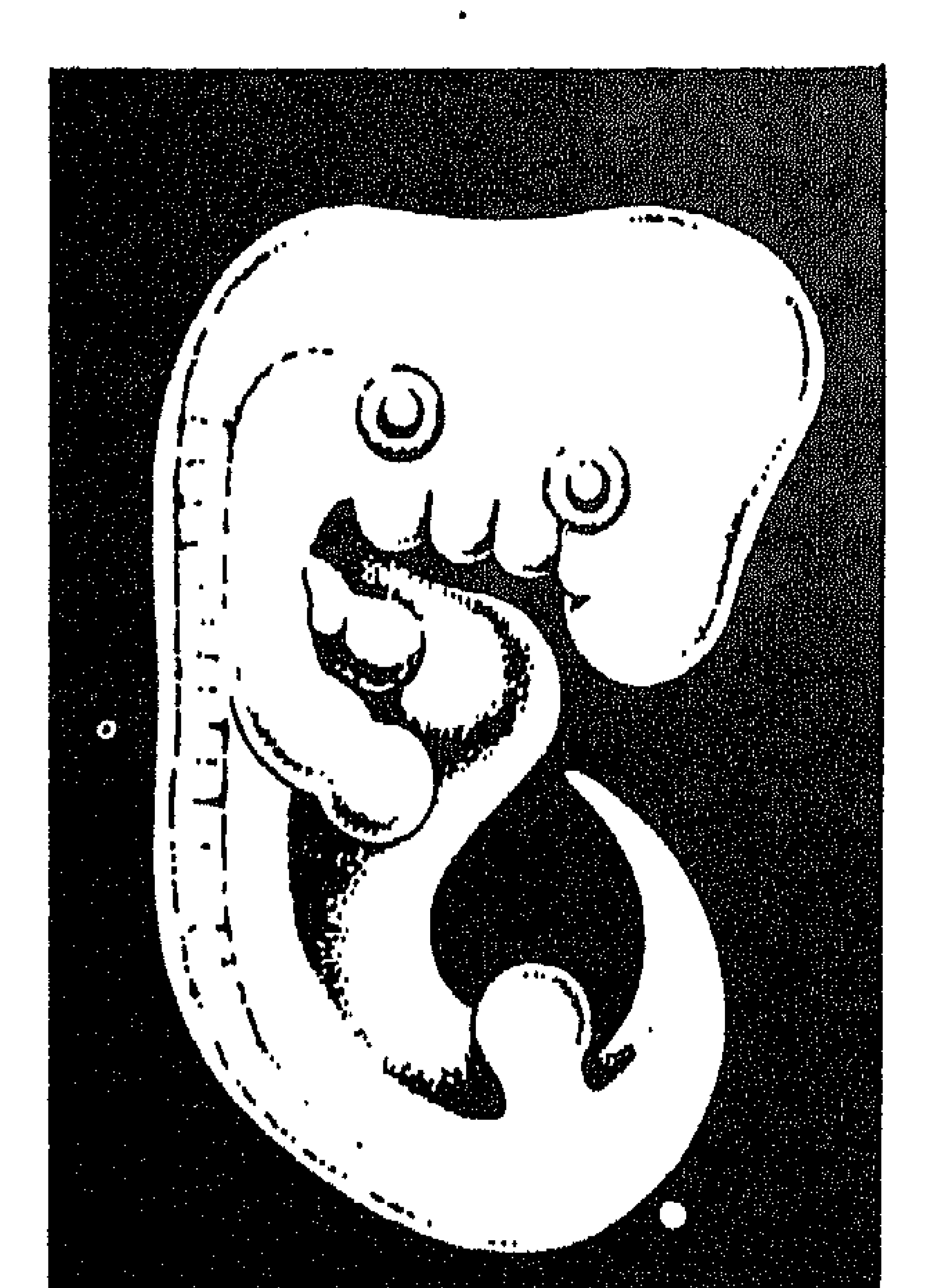
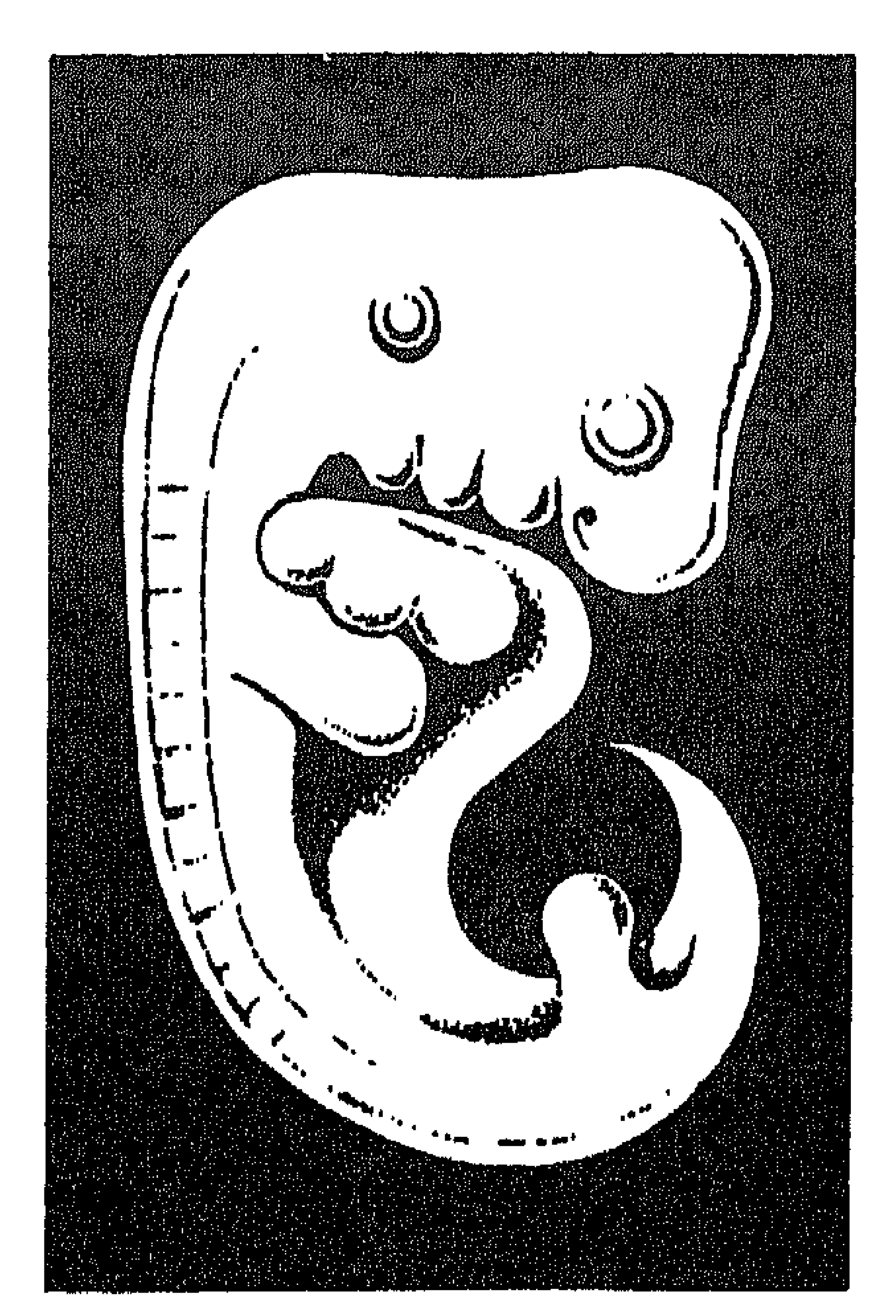
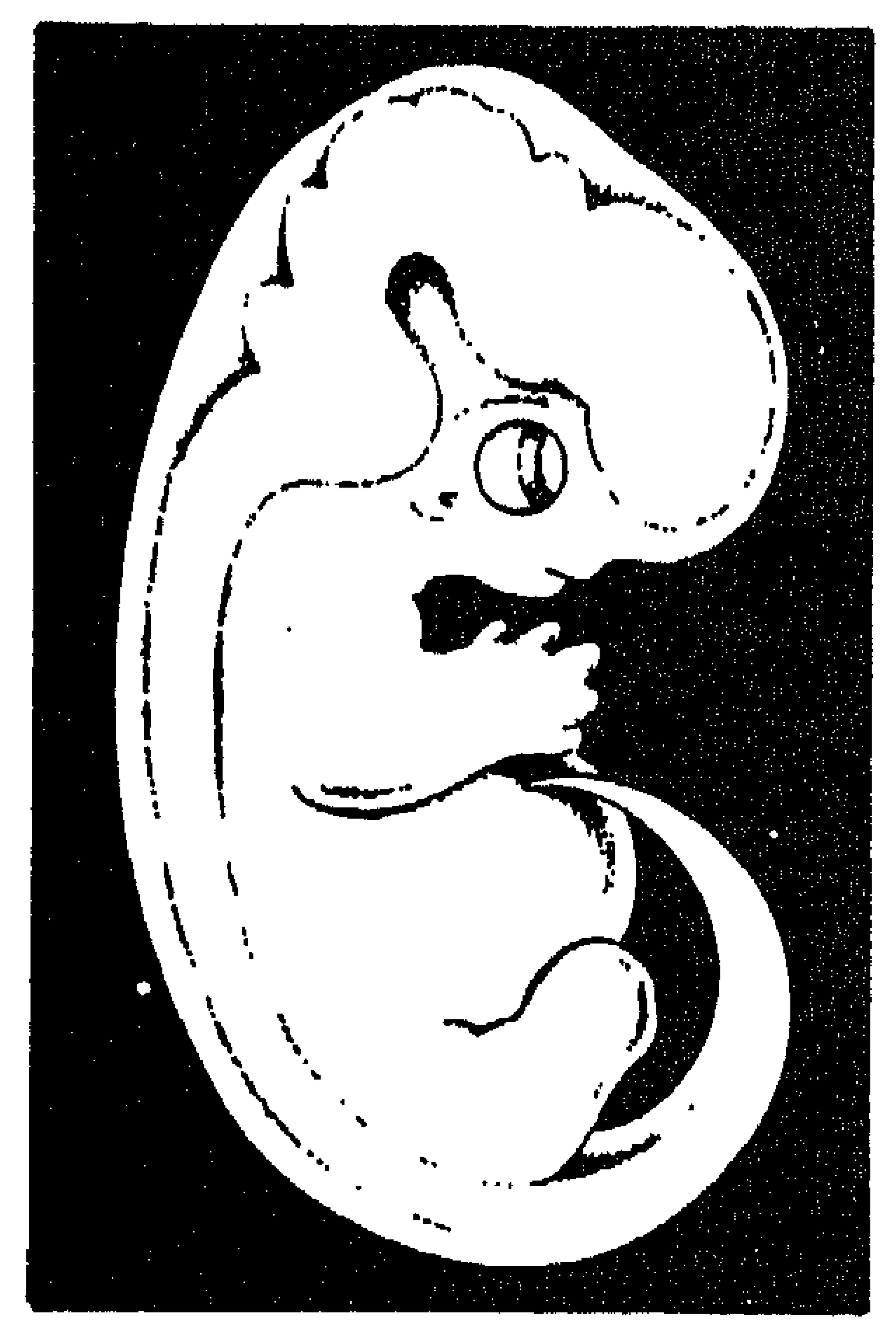
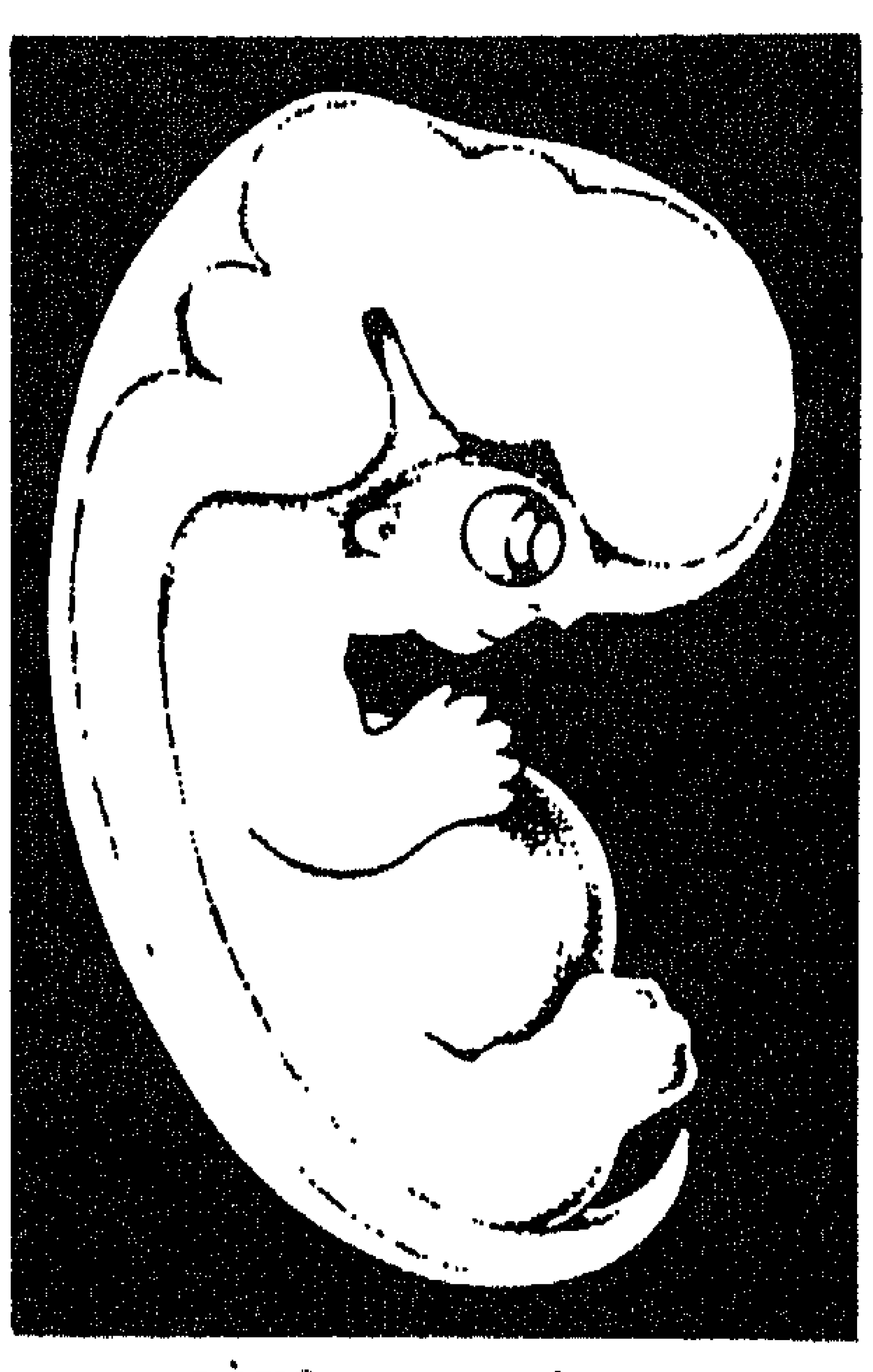
4ème jour



6ème semaine



8ème jour

CHIEN	HOMME
	
4ème semaine	4ème semaine
	
6ème semaine	8ème semaine

تلعب بالفعل دور مراقبة في نماء العضوية، وبخاصة في تخصيص الخطة المعمارية للعضوية. إن اكتشاف مثل هذه التنظيمات الزمانية جوهري؛ وسوف يتيح بلا شك فهم لماذا تعرف مختلف الأنواع، مع وجود إرث مورثاتي قاعدي متماثل تقريباً ومضغ تشابهها مرموق، مصيراً مختلفاً إلى هذا الحد. إن البرنامج الزمني يملي، بفعل لعب تثبيطات وتفعيلات (تنشيطات) للمورثات، على الخلية النواتج التي يجب أن تصنع، والعُضَيات التي يجب بناؤها، والتخصصات التي يجب اكتسابها. إنه يوجه والحالة هذه تفريق الخلايا ومناوعة الأنواع، التي يبدو أن لموادها القاعدية المضغية، في الأصل، تعدداً تكافئياً كبيراً.

تشابه المضغ الكلي

إن غياب المناوعة البدئية للخلية الحية سبق أن لُوحِظ، في القرن الماضي، لاحظة مخترع نظرية التلخيص، إرنست هايكيل، وينقل الشكل ١٦ الرسم الذي نشره في عام ١٨٧٤، والذي يقارن المشهد الشكليائي لمضغ أنواع بمثل تنوع الدجاجة والكلب والسلحفاة والإنسان، في مراحل متوسطة من تناميها.

على هذا الحال، بدءاً من الصلصال الأصلي للبيضة، يقود البرنامج الزماني، ووحده يقود، مختلف التوجيهات التي تقود المضغة نحو الشكل النهائي والنوعي للنوع. وهذه القاعدة ليست وحسب صحيحة بالنسبة للأنواع الدنيا؛ إذ يبدو أنها تنطبق أيضاً على الإنسان وعلى الثدييات العليا. ولدى البشر، تكون البروتينات التي يصنعها مختلف الأفراد هي عينها، باختلافات جدّ يسيرة. والتغيرية الملاحظة تكون عملياً كبيرة بين الأفراد من عروق مختلفة بقدر ما تكون كبيرة بين أفراد من عرق بعينه؛ وهذا التحقق يؤسس مناقضة معظم البيولوجيين المعاصرين لفكرة العرقية البيولوجية عينها، يضاف إلى ذلك، أن ٩٩٪ من البروتينات التي يصنعها الشامبونزي، أو الغوريللا، هي عين البروتينات التي تصنعها الخلايا البشرية. وبشكل أكثر دقة، بصدد عينة من ٤٤ بروتين متماثلة حللها باحثون أميركيون، انصبت اختلافات الصيغة الملاحظة في متواليات الحموض الآمينية على أقل من ١٪ من هذه الحموض. صحيح أن اختلافاً صغيراً في الصيغة

الكيماوية لبروتين يمكن أن تفضي إلى تغييرات كبيرة في عمله، إذا كان هذا الإختلاف ينصب على قطعة مفتاحية (رئيسية) من الجزيء الكبري. مع ذلك نلاحظ، بالنسبة لمعظم البروتينات المحللة، تقريباً عدم وجود أي فرق في نشاطها الكيماوي النوعي. حتى أن سلاسل الهيموغلوبين ألفا وبيتا، مثلاً متماثلة تماثلاً مطلقاً لدى هذه القرود الكبيرة ولدى الإنسان.

تنوع الحي

كل هذه الملاحظات تحملنا على استخلاص أن الجنس البشري لا يتميز بشكل رئيسي عن الرئيسات الأخرى بالمحتوى الإستعلامي للراموز المورثاتي أو بالتركيب الكيماوي للمكونات الخلوية. إنه يتميز عنها بالبرنامج الزماني الذي يضبط تعبير الراموز الوراثي، الذي يتيح بخاصة التعقد المرموق للجملة العصبية المركزية لممثلي النوع البشري، في لحظة حرجة من تناميهم.

ندرك بهذا الشكل بأن المحتوى الخام للراموز الوراثي، أو عدد حروفه ذات المدلول، لا يكفي لتحديد الدرجة التعقيدية للعضوية التي يجب بناؤها. ومثال الضفدع، الذي يكون سجله الوراثي أطول مائة مرة من سجل الإنسان، يكفي لإظهار ذلك. في الواقع يوجد في ADN الضفدع كما لدى الإنسان ـ لكن أكثر أيضاً لدى الضفدع ـ أعداد لا تحصى من التكرارات ومن المتواليات الطويلة الخرساء التي تمد كثيراً الإرث الوراثي (الجيني). وقد تساءل جان ـ پيير شانجو بحق: كيف ربما يستطيع راموز وراثي يحتوي على ما يحتمل مليون حرف ذات دلالات أصيلة أن يرمز من أجل آلاف مليارات المشابك (التماسات بين الخلايا العصبية) المتوزعة في الجسم البشري كله؟ زلم يكن بيولوجيو الجزيئات للأعوام ١٩٦٠ أو ١٩٧٠ قد أفرطوا في تقدير قدرة الكتابة؟ ألم يكونوا قد أهملوا، خلافاً لذلك، بعداً للحي معيناً، ربما سوف تسول لنا نفسنا بأن ندعوه بعد الحي الرابع، مع أنه لا يتفلص إلى الزمن الفيزيائي؟

*

* *

في الفصل السابق، سبق أن كان قد أوحى بسلطان الزمان على الحي كل الإيقاعات والدورات التي لم نفعل سوى أن نستشف عددها واستطاعتها. وقد أضفنا للتو القدرة التي تمارسها في تكون الفرد وفي تفريق الأنواع. في كل الأحوال، يتجلى الزمان في الموجود الحي بشكل عدد وافر من الميقاتيات الداخلية تقود في الوقت نفسه قدر الموجود وبقاءه. ربما يبقى علينا أن نظهر كم يتعلق تنسيق عضوية، في نمائها كما في عملها العادي، بالتنسيق بين هذه الميقاتيات المتعددة. على هذا المستوى لا يزال البحث البيولوجي في خطواته الأولى. وتستلزم مزامنة الميقاتيات التي لا تحصى ذات الأدوار التلقائية المتنوعة والتي نشتبه وحسب بوجودها، والموزعة في مجموع الجسم البشري، ميكانيكيات مراقبة بالغة الدقة. إنها على ما يحتمل تشكل عقدة الحي، بمقدار ما يكون هذا **التآمر**، وهذا التآمر وحده، يتيح إبقاء أفراد أحياء، وحتى زمر، أليس عدد من السرطانات معزوة إلى خلل في الميكانيكية الدقيقة للمراقبة الزمانية للتعبير الوراثي، خلل يتيح التكاثر الفوضوي لبعض أنماط الخلايا في أوقات أخرى غير تلك التي تكون متوقعة في خطة النماء المضفي؟ وقد تلقت المورثات المقابلة، التي يحدد تعبيرها الزمني المختل ظهور التكاثر الخبيث، اسم مكون الورم. إن دراستها عرفت تنامياً مدهشاً في هذه السنوات الأخيرة إلى حد أنه قد كُتِب أن «الكثير من السرطانات، وجميع السرطانات البشرية على ما يحتمل، مرتبطة في منطلقها بطفرات وراثية»؟ والموت عينه سوف يشرح ذات يوم بطريقة أكثر وضوحاً ومقنعة بعبارات سوء عمل هذه الميقاتيات أو هذه المزامنات، بدلاً من أن يشرح بعبارات تراكم أخطاء وراثية (جينية)، نفايات يحلولية وتنكسات خلوية.

* * *

الفصل التاسع عشر

زمان الدماغ وَ زمان الفكر

إن الدماغ، شأنه شأن كل الأعضاء، يستهلك أوكسجين وسكر. إنه مثلها، يكون مقر نشاطات إيقاعية. بيد أن الدماغ هو أيضاً عضو «منطقي» شبيه بالوحدة المنطقية لناظمة الية ordinateur. ووظيفته هي أن «يحسب»، أي أن يتلقي، ثم يحول المعلومات الحواسية إلى أفعال. ونستطيع أن نتوقع أن تكون هذه الوظيفة تتطلب ميكانيكيات جديدة للتنسيق الزماني. أخيراً، إن الدماغ يكون أيضاً معتبراً على أنه الحامل المادي للفكر. وحدس المدة المعاشة، الذي يميز الفكر، يُلفى على ما يحتمل مُكيَّفاً بميكانيكيات زمانية عصبونية من نمط خاص. وإنه لأمر مشروع أن نتساءل بخصوص العلاقات بين زمان الدماغ، المنظور إليه من جوانبه الفيزيولوجية والوظيفية، وزمان الفكر، باعتباره مسقطاً واعياً وتوقعاً من جانب الإرادة لأعمال مرتقبة. إن العلوم العصبية تحاول وصف الميكانيكيات المولدة لهذه الإيقاعات الخاصة، وأن تدرس تمفصلاتها وتنظيمها كشبكات، وتأمل في أن تستطيع ذات يوم أن تجيب على التساؤلات حول علاقاتها بالزمان الفيزيولوجي.

يفرضُ التواضعُ نَفسَهَ هنا. فالعلوم العصبية، التي هي علوم حديثة العهد، لاتزال في أوج التطور. والتأخر النسبي الذي تعاني منه يعلل جزيئاً بالإحتراس الذي كان الموضوع ذاته يوحيه لباحثي القرون الماضية لأسباب فلسفية ودينية. وفي وقت أكثر حداثة، علل أيضاً بالتأثير القوي جداً لتقنية الناظمات الآلية، التي استطاعت نجاحاتها ـ والآمال المفرطة التي كان جزء معين من المجتمع يعلقها عليها ـ أن تقنِّع الطبيعة الأصيلة للمنظومات المفكرة البيولوجية. بيد أن العلوم العصبية

تتقدم اليوم بسرعة. والأجوبة المعطاة حالياً ليست إلا فرضيات، تأتي في بعض الأحيان لمساندتها ملاحظات لا تزال مجزأة.

تنامي العلوم العصبية

كانت الدراسات المعمقة الأولى عن الدماغ عمل علماء نسج واختصاصي فيزيولوجيا نهاية القرن الماضي. وقد أظهرت ملاحظات رامون إي كاجال المجهرية المدققة أن الجملة العصبية مكونة من خلايا فردية، مفصولة بعضها عن البعض الآخر: ولا تشكل شبكةً مستمرة كما كان يُعتقد قبلاً. وقد تبنى التعبير «**عصبون**»، المستعمل من أجل الدلالة على هذه الخلايا الفردية، (ويلهيم ولديير) في عام ١٨٩١، وتعبير «**المشبك**» من أجل الدلالة على مناطق التماس بين عصبونين متعاقبين متضمنين في نقل التنبيه العصبي، اقترحه (شارل شيرّينغتون) في عام ١٨٩٧. مع ذلك ولدت غالبية الأفكار الرئيسة للعلوم العصبية الراهنة بعد **الحرب العالمية الثانية**: لدونة المشايك كعنصر يشرح ميكانيكيات الذاكرة (دونالد هيبّ في عام ١٩٤٩)؛ ميكانيكيات إنتشار كامنات العمل في الألياف العصبية (آلان هو دغكين وأندرو هكسلي في عتام ١٩٥٢)؛ وجود ناقلات عصبية، جزيئات كيماوية محررة في المكان ما بين المشابك بواسطة نهايات الخلايا العصبية الخاضعة لكامنات عمل والمسؤولة عن نقل التنبيه العصبي (بدءاً من عام ١٩٤١)؛ وجود مشابك مثبطة، قابلة لا لنقل التنبيه العصبي من عصيون إلى آخر بل على العكس لأن توقف تشكل كامن عمل في الخلية السافلة، عندما تكون الخلية العالية نشيطة (درس ذلك جون إيكليس بين عامي ١٩٣٠ و ١٩٥٠)؛ وجود أعمدة قائمة من القشرة وأجوبة القشرة البصرية النوعية (داڤيد هوبل وتورستن ڤييزل، في عام ١٩٦٢).

بينما كانت تقنيات وسم الخلايا العصبية تتحسن، كانت الدراسات التشريحية تتطور، محررة تفاصيل عن الوصائل العصبونية بخاصة في الجملة البصرية، والقشرة المحركة، والمخيخ (المكلف على الأخص في عملية الترسيخ في الذاكرة). وقد كانت المناهج الاليكتروفيزيولوجية تتيح الحصول على معلومات عن

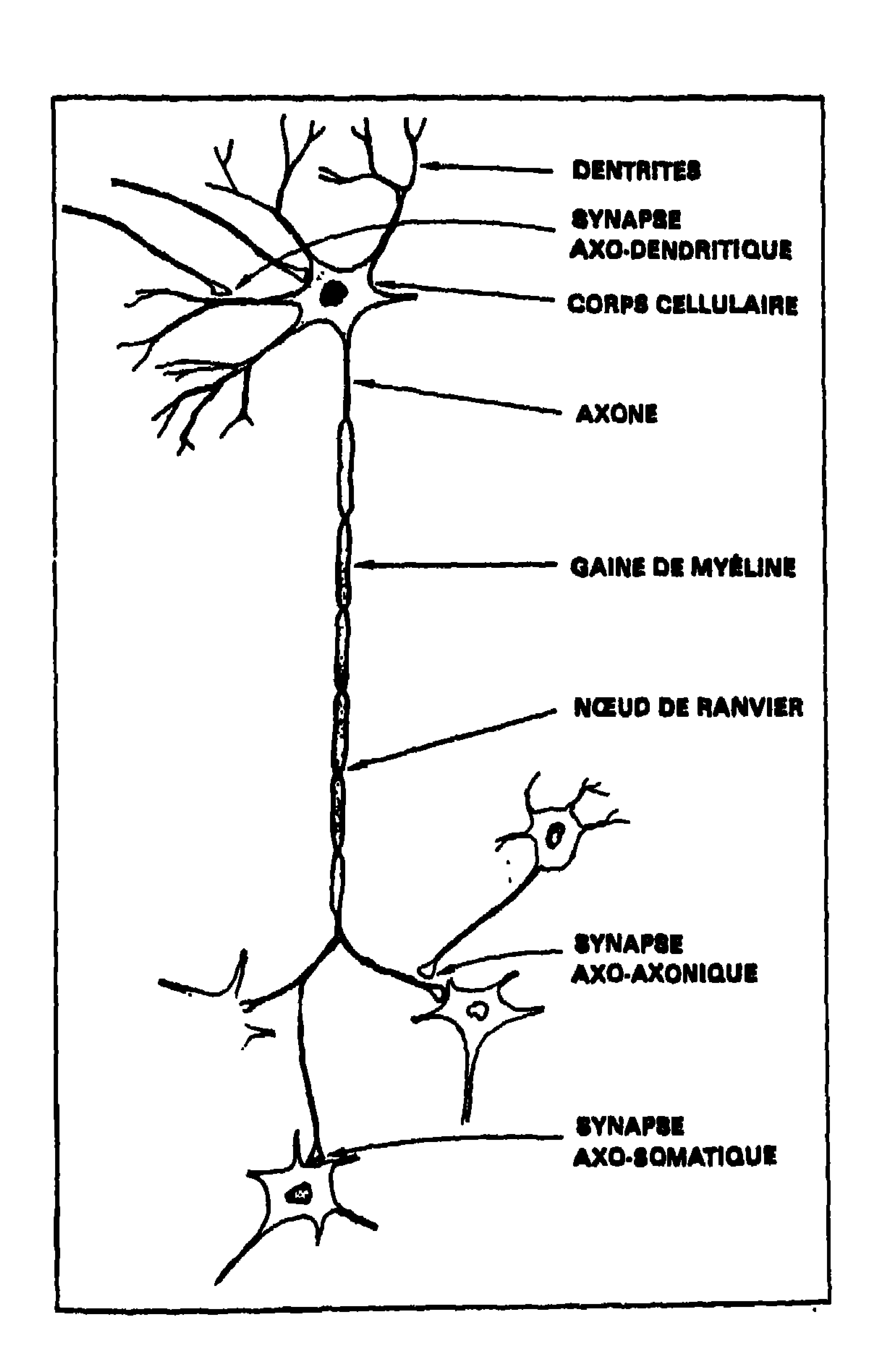
انتشار التنبيه العصبي، ونقله نحو الأهداف الخاصة، وتدعيمه أو تثبيطه المتبادل مع التنبيه العصبي المنقول بعصبون مجاور. ونستكشف، منذ عدة سنوات، لا الأجوبة العصبونية الفردية وحسب، بل نسعى لأن نقارن في الزمان أجوبة مجموعة عصبونات ذات وظائف متماثلة، بخاصة من أجل دراسة خواصها المزامنة. أخيراً لقد اكتسبت تقدمات كثيرة في الدراسة الجزيئية للقنوات الشاردية لغشاء العصبونات الخلوي. وهي تجعلنا من الآن فصاعداً نتصور العصبون على أنه مقر نشاطات كيماوية وكهربائية عظيمة التنوع، بثوابت زمانية تتراوح ما بين ميكروثانية وثانية وزيادة.

نشاطات إيقاعية في العصبونات

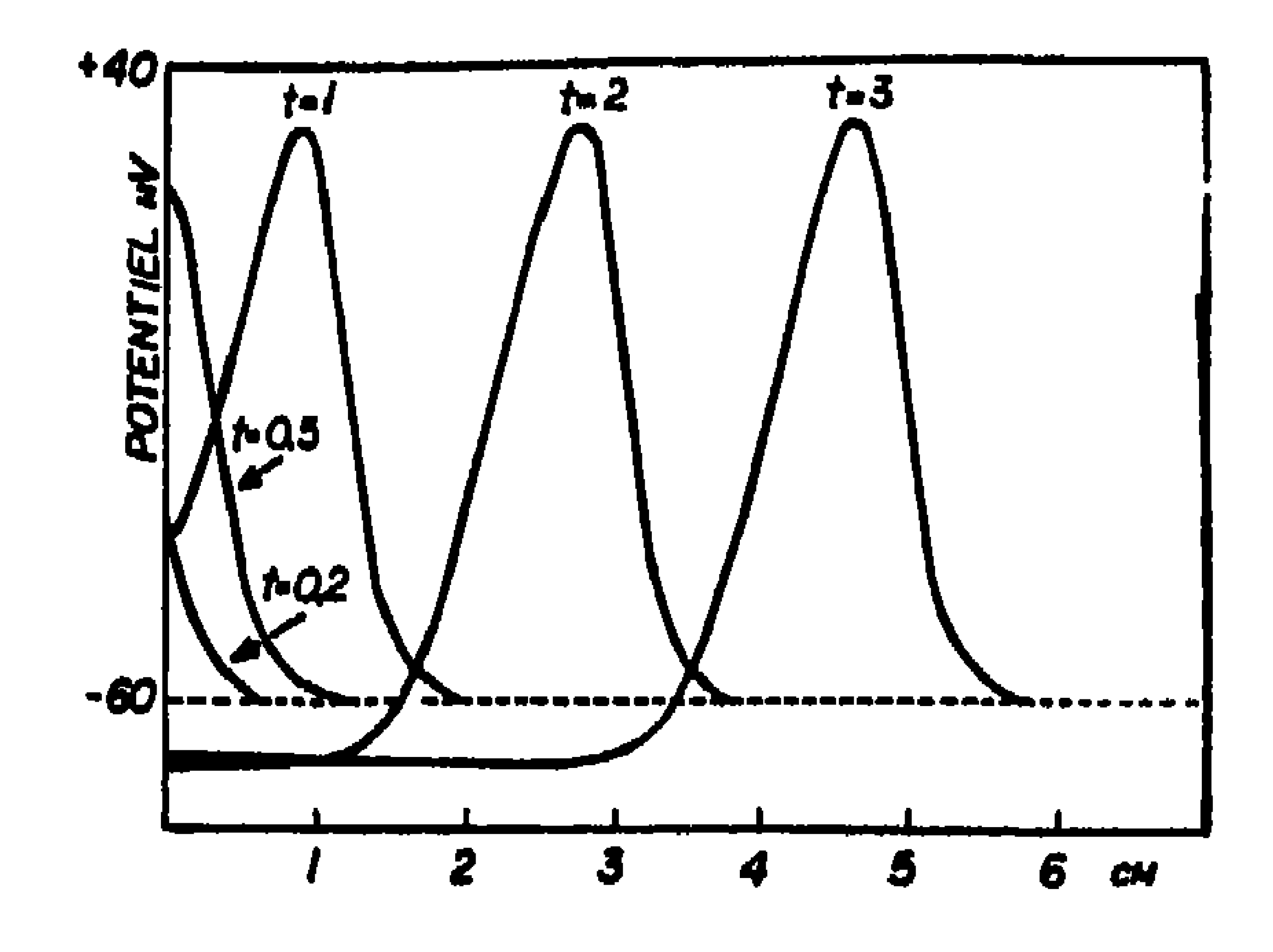
إن الخلايا العصبية إذا ما أخذت افرادياً تكون بحد ذاتها أمثلة نموذجية لمنظومات تيرمونياميكية مفتوحة، تتبادل بأغشيتها وبمشابكها، الشوارد والجزيئات[1] التي تجسد التبادلات الطاقية والمادية مع البيئة. هذه المنظومات التيرمودنياميكية المفتوحة تكون مقراً لظواهر متغيرة في الزمان، ونموذجية في تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة، بخاصة، من خلال لعبة قنوات شاردية مهيأة على نحو ملائم على غشاء محوار الخلية العصبية، تنشر الخلية العصبية كامنات العمل، على غرار تشويه فجائي ينتشر على طول حبل لدن موتّر (الأشكال ١٧ و١٨ و١٩). من جهة أخرى، في حالة غياب انتشار كامنات عمل، يتذبذب (ينوس) كامن الغشاء في معظم الأحيان بشكل منتظم. وهذا التغير الدوري المرتبط بنشاط القنوات الشاردية غير تلك المستعملة بكامنات العمل، يأتي بمثال جديد عن التصرفات الدروية المعلومة في المنظومات التيرموديناميكية المفتوحة واللاخطية. زد على ذلك، أن انفتاح وانغلاق كثير من القنوات الشاردية لأغشية العصبونات،

---

(١) إن جزيئات الناقلات العصبية، التي تكون وظيفتها نقل معلومة من عصبون إلى آخر عبر المكان المشبكي، تحررها حويصلات موضوعة على حبات التشجرات المحوارية للخلية الأعلى. وهي لا تنفذ بالفعل إلى الخلية السافلة، بل تتثبت على جدار الغشاء المشبكي الخاص بها، وهذا ما يكون من مفعوله أن يعدل مؤقتاً نفوذيه بعض القنوات الشاردية، وبالتالي يخلق إشارة كهربائية تعدل الكامن الغشائي.


DENTRITES
SYNAPSE
AXO-DENDRITIQUE
CORPS CELLULAIRE
AXONE
GAINE DE MYÉLINE
NŒUD DE RANVIER
SYNAPSE
AXO-AXONIQUE
SYNAPSE
AXO-SOMATIQUE


20 µm


+40
-60
POTENTIEL mV
t=1
t=2
t=3
t=0.5
t=0.2
1
2
3
4
5
6 cm

بخاصة على سوية المحوار، تتعلق بفرق الكمون بين وجهي الغشاء. ويعدل التيار الشاردي الذي يسببه انفتاحها هذا الكامن، مانحاً العصبون اللاخطية السلوكية الضرورية لهظور ظواهر تبديدية.

العصبون، آلة منطيقة

إن الدماغ هو بحق عضو حساب، الأمر الذي يوحي بالمضاهأة التي كثيراً ما يذكر بها مع الناظمات الآلية. وتؤسس لاخطية العصبونات بالضبط هذه المضاهأة. وبفضل هذه الخاصة، في الآلة المنطقية التي يكونها الدماغ، تستطيع العصبونات أن تلعب دوراً مشابهاً لدور الترانزيستور أو مركبات الكترونية أخرى تستغل الخواص اللاخطية لأنصاف النواقل.

إن إحدى وظائف العصبون الرئيسية بما هو الة منطقية هي مقارنة معلومتين من أجل اتخاذ قرار. وبتقليص الحالات الممكنة لكل معلومة إلى خيار وحيد من نموذج نعم أو لا، فسوف يصبح القرار الذي يجب أن يتخذه الدماغ ذا نموذج ثنائي. والقرارات المنطقية الثنائية التي يمكن اتخاذها تنتمي بعامة إلى هذا أو ذاك من الصنفين التاليين: الـ «وَ»، الـ «أو»، الـ «أو الاستبعادية»، الـ «استبعاد». لنقرر من أجل قوننة المعطيات أن نمثل رمزياً كل «نعم» بالرقم ١ وكل «لا» بالرقم. (صفر)، سواء على سوية المعلومات الداخلة أو القرار الذي يجب اتخاذه. حينذاك نستطيع أن نكتب لائحة بقيم التوابع المنطيقة الرئيسية. لنفرض مثلاً أن أول معلومة تقابل رنة جرس إنذار، وأن الثانية تقابل قراءة دلالة الوقت في ساعة. فإذا كان الدماغ مبرمجاً حتى يضاء التلفزيون عندما يرن الجرس وتدل الميقاتية على الساعة الثامنة معاً، فالقرار سوف يكون موجهاً بالتابع «وَ». وإذا كان ينبغي أن تكفي معلومة واحدة من هاتين المعلومتين حتى ينطلق هذا العمل، فالقرار سوف يكون موجهاً بالتابع «أو».

يستطيع عصبون أو يتلقى عدداً كبيراً من المعلومات معاً. ويملك بعض من العصبونات في الواقع أكثر من عشرة آلاف مشبك، تصلها بعدة الاف من الخلايا في الأعلى. ووفقاً لكامن الغشاء الذي ينتج من جميع هذه المداخل على سوية

INF. 1	0	0	1	1
INF. 2	0	1	0	1
ET	0	0	0	1
OU	0	1	1	1
OU EXCLUSIF	0	1	1	0
EXCLUSION	1	0	0	0

القطعة البدئية للمحوار، يمكن أن تكون عتبة خلق كامن عمل قد عُبِرت أو لا؛ في هذه الحالة الملائمة ينشأ كامن العمل وينتشر على طول المحوار حتى يبلغ مختلف الحبات المشباكية للنهايات المحوارية.

بهذه الميكانيكية، يقارن العصبون المعلومات الداخلة كي ينتج إشارة خروج ثنائية، يعني إنتاج أو عدم إنتاج كامن عمل. على الصعيد النظري، ترجع فكرة كون آلات بناها البشر قد تستطيع أن تجري عمليات منطقية إلى أعمال عالم الرياضيات الإنكليزي آلان تورينغ، مداولاته في موضوع نشر في عام ١٩٤٣ من قبل وارن ماك كوللوش وولترپيتس.

بعد نهاية الحرب بزمن قليل، كان أول مهندسي سيبير نيتيك، بخاصة جون ڤون نومان، يعدون ويبدؤون تشغيل أول ناظمات الية، كلفت بأن تجري، لصالح الجيش الأميركي، الحسابات اللازمة لتطوير قنابل «H». ويعود الفضل أيضاً إلى ڤون نومان في التحاليل الأولى التي تقارن الأدمغة بالناظمات الآلية، التي كانت تدعى آنذاك عادة «أدمغة اصطناعية».

ذاكرة طبيعية وذاكرات الناظمات الآلية

إن الإستطاعة الذاكرية توفر نقطة مقارنة أخرى بين الأدمغة والناظمات الالية. ففي حالة الناظمات الآلية، المقصود هو ذاكرات «قابلة للعنونة». وهي مجموعات منظومات ذات **حالتين سوف نستمر** بترميزهما بـ O وبـ 1)، دارات «flip - flop» ذات ترانز يستور أو «أطواق مغناطيسية»، وحدتها المركزية تستطيع في كل لحظة أن تسأل الحالة بتحديدها العنوان، العدد الذي يرمز موضع هذه الذاكرة الخاصة في الذاكرة الكلية. وقد تخيل أولاً بأن العصبونات، لكونها تستطيع أن تتخذ حالتين (أن تكون مثارة أولاً)، كانت تمثل في الدماغ الذاكرت البدائية، لكن لهذه الفكرة كاستتباع أنه ربما يكون على عصبون مثار، من أجل أن يسجل مجردO أو ١، أن يظل مثاراً ما دامت المعلومة تظل مندرجة في ذاكرة. ونعرف اليوم أنه يوجد في العصبونات مناطق لدينه، تكون تعديلاتها قابلة لتغيير مميزات جواب العصبون تبعاً لتعلم ملائم. وهذه هي حالة المشايك وأيضاً، على ما يبدو، الأشواك التغصنية، التي هي أعناق دقيقة تصل أحياناً المشابك بجذوع التغصنات الرئيسية.

لوحظ أن «فعالية» المشابك بين عصبونين، أي احتمال أن تكون دفعة عصبية قد نقلت بنجاح عبر المكان المشباكي بين عصبونين، تزيد في بعض الحالات بشكل محسوس عندما يكون الموصل المشباكي قد حُضّ بشكل متكرر. كذلك، تتعدل المميزات الشكليائية والكهرافيزيولوجية للأشواك التغصنية في بعض الأحيان تبعاً لتواتر استعمال المشابك التي تفسح المجال لها من أجل مرور معلومات عصبونية. وتسهل تعديلات المناطق المشباكية هذه بشكل نوعي انتقال السائل العصبي (التنبيه العصبي) من عصبون إلى آخر، لكن فقط عندما تكون الموصلات المعنية قد استعملت بنجاح عدداً معيناً من المرات أولاً. وهذا التسهيل يمكن أن يدوم بضع عشرات من ١٠٠٠/١ من الثانية ويزول، أو على العكس يمتد بطريقة مستديمة. ونتصور على هذا الحال أنه، بفضل اللدونة المشباكية، تستطيع دارات عصبونية

تفاضلية أن تنطبع في الدماغ إثر «تعلم». وإنه لبتكرار «الرسالات» ذاتها المتنقلة بالدارات ذاتها. وبالتالي المستعملة للتماسات المشباكية ذاتها، تنطبع هذه الرسائل في الذاكرة، بمقدار ما تكون هذه التماسات المشباكية ترى فعاليتها تزداد بشكل متلازم ومستديم.

إن العناصر الذاكراتية للدماغ ربما تكون والحالة هذه موضوعة على سوية المشابك، لا على سوية العصبونات ذاتها. وذلك يرفع عدد العناصر الذاكراتية الجاهزة في الدماغ إلى رقم ضخم، يبلغ على الأقل (١٠)^{١٣} أو (١٠)^{١٤}: على سبيل المضاهأة، تملك ناظمة الية شخصية من نمط IBMPC، بصورة عامة، ما يقرب من ٤(١٠)^{٦} ذاكرة أولية. فلدماغ بشري والحالة هذه استطاعة ذاكراتية موجودة بالقوة تكافىء مائة ألف ناظمة الية IBMPC! ويحتمل مع ذلك أن يكون فقط جزء من المشابك الحاضرة في الدماغ قابلاً للإستعمال من أجل خزن إعلام، لكن يظل ممتنعاً تقدير نسبته.

توجد مع ذلك فوارق جسيمة بين الدماغ والناظمة الآلية من وجهة النظر المتعلقة بالذاكرة. فمن جهة، لا يملك الدماغ ذاكرات «قابلة للعنونة»، بل ذاكرات «ترابطية». فالمعلومة، بدلاً من أن توجد مختزنة في سجل معلّم برقم، لا تكون معلّمة بالدماغ إلا في النطاق الذي يؤمن لها فيه مفتاح، رمز أو مماثلة. و«الوحدة المركزية» للدماغ، إذا ما وجدت، لا تلتمس محتوى ذاكرة معينة بعنوان، خلافاً للناظمة الآلية. إنها تقذف تقريباً من جميع الجهات، في مجموعة الذاكرات الجاهزة، مفتاحاً، مثلاً فكرة «جَدَّة»، وتتلقى جواباً على ذلك كل ما استطاع هذا المفتاح أن يحرره باعتباره استدعاءات، مثلاً صورة ثنيات شعرها الأبيض أو استدعاء كذا تحلية قُدِّمت عندها.

من جهة أخرى، لا تبدو الذاكرة مموضعة بدقة، فتجارب، معزوّة للأميركي كارل لاشلي وتعود لأعوام الثلاثينات، أظهرت أنه كان من الممكن أن تنزع القشرة الدماغية لفأر دون أن يكف عن التوجه في تيه كان قد تعود عليه قبلاً. فلو كانت

الذاكرة مموضعة لكنا نتوقع أن يفقد الفأر فجأة وبشكل كلي هذه المعرفة. وبدلاً من ذلك، لا يكون تعود الفأر على التيه مُقَلَّلاً أو مخرباً إلا تدريجياً، كلما مارسنا استئصالاً أوسع من السطح القشري. وقد سهلت هذه النتيجة، منذ عدة سنوات، تطوير النماذج «**الهولوغرافية**» للدماغ.

كانت تخالف، في هذه النماذج، نماذج الذاكرة المموضَعة، وكان يُعتبر أن الذاكرة المموضَعة كانت موزعة أو «محشوَّة» في القشرة بأكملها، شأنها شأن صورة «محشوَّة» في الترابطات الدقيقة بين حبيبات الفضة على كامل سطح «هولوغرام». بيد أن الأوضاع المتطرفة نادراً ما تتوافق مع الواقع. إن بعض وظائف الذاكرة (التعلم، إمكانية الإشتغال أو مقاومة الأعطاب الصغرية للمنظومة) تبدو متضمنةً خواصاً لاموضعية للدارات العصبونية. بخلاف ذلك ربما تبدو وظائف أخرى (دقة الذكريات، وثوق أو حفظ المعلومة خلال أدوار زمانية طويلة) مشروحة شرحاً أفضل إذا كانت تنصب على عناصر مموضعة من الذاكرة. ومن المحتمل أيضاً أن تكون المعلومات المختلفة المتعلقة بموضوع بعينه، في الذاكرة الترابطية، غير متبددة في الدماغ وحسب، بل ومتضاعفة أيضاً في عدة نسخ، حتى لو كان كل عنصر إعلامي ممكناً أن يكون مموضعاً في كذا أو كذا عقد مشباكية.

مهما يكن من أمر، يظل صعباً قرار ما إذا كانت الذاكرة «مموضعة» أو «متوزعة»، بلا شك لأننا نطرح المسألة طرحاً سيئاً ولا نتمتع في هذه الأيام بالمفاهيم الأفضل تكيفاً مع وصف الذاكرة العصبونية. فالتقدم في هذه المجالات لا يتعلق وحسب بتراكم وقائع تجريبية، بل أيضاً باقتراح مفاهيم جديدة من أجل تجميعها وكتابتها.

حدود العقل الصناعي

إن الأمل، الذي داعبنا حيناً من الزمان، في أن «العقل الإصطناعي» كان في طريقة إلى أن يتيح لنا أن نعرف معرفة أفضل ميكانيكيات الذاكرة والعقل الإنساني

قد خيب، فالتماثل بين الناظمة الآلية والدماغ هو في الواقع تماثل خادع. فأكبر الناظمات الآلية لا تستطيع أن تنافس الدماغ البشري في بعض المهمات التأليفية التي ينجزها في بضع أعشار الثانية. لنأخذ مثال وجه الجدة، الذي نتعرف عليه دون عناء في تشكيلة كبيرة من زوايا النظر والمسافات الممكنة. من أول وهله، يدهشنا تفوق الأدمغة البيولوجية على الناظمات الآلية، في مهمات «التعرف إلى الأشكال»، لا سيما أن لهذه الناظمات الآلية سرعة في الحساب متفوقة بلا مثيل. فالعصبون يحتاج بضع الأجزاء الألفيه من الثانية للقيام بعملية ابتدائية ونقل نتيجتها إلى الخلية التالية: وتمتد الإشارة البيولوجية أو كامن العمل جزءاً ألفياً من الثانية أو يزيد، وهي تنتشر بسرعة متغيرة حسب الحالات من ١٠ سم/ في الثانية، في التشجرات الإنتهائية لخلايا القشرة مثلاً، إلى بضعة عشرات الأمتار في الثانية، بالنسبة للألياف العصبية الغليظة المزودة بِغمد عازل من النخاعين، على النقيض من ذلك، يتُم السجل المنطقي لناظمة الية عملية ابتدائية في جزء من مليون جزء الثانية وتسري المعلومات في الناظمة الآلية بسرعة الضوء، أي ٣٠٠,٠٠٠ كم/ الثانية. في بضعة عشر ثانية الضرورية للتعرف على وجه، لا تجتاز المعلومة البصرية بالتأكيد أكثر من عشر مراحل «حساب» ـ لا أكثر من عشر بوابات مشباكية. وتستطيع، في المدة الزمانية نفسها، ناظمة الية حديثة أن تتم عدة مئات الألواف في العمليات الإبتدائية. مع ذلك، من أجل بلوغ النتيجة التي يبلغها الدماغ نفسها، مثلاً تحديد هوية وجه الجدة تحت زواية ما، قد تحتاج الناظمة الآلية إلى عدة ساعات من الحساب ومن النخب الإعلامي. بالمقابل، تسترد الآلة كل حسناتها عندما تقاس بالدماغ البشري في المهمات التي فيها مجلّية، كالحساب العلمي: حينذاك تتبدى أسرع بلا مثيل من مماثلها البيولوجي.

لقد أخر بالتأكيد، الإفتان الذي مارسته الناظمة الآلية، الذي ظهر في تطور العقل الإصطناعي في غضون سني ١٩٦٠ إلى ١٩٨٠، تقدم العلوم العصبية النظرية، فبدلاً من السعي بادىء ذي بدء لفهم كيف يعمل في الواقع الدماغ لمحاكاة بعدئذ، تمسكنا باستعمال الناظمات الآلية الجاهزة من أجل تصنع الوظائف العقلية.

وقد اردنا، عندما اسكرتنا النتائج الأولى المشجعة، أن نمضي إلى مدى أبعد ونشرح الميكانيكيات المستعملة في الكفاءات الذهنية. وهذا مسعى غريب قابل للمقارنة بموقف باحث كان ربما يطلب، في عام ١٩٨٠، من صانعي أجزاء الطائرات شرح لماذا وكيف تطير العصافير (الطيور). ربما كان سوف يلح عليهم ليتحدثوا، مثلاً، عن مكافىء المحركات النفاثة لدى الطيور. والباحثون، لاصطدامهم بعوائق غير متوقعة، يلتفتون الآن نحو تحاليل جديدة نظرية تمس إعمال الجملة العصبية، بأخذهم بالحسبان أكثر معطيات الفيزيولوجيا العصبية. وتوحي الستراتيجية الجديدة أنه ينبغي أولاً مكاملة هذه المعطيات في نماذج إعمال الجملة العصبية المركزية، وبعدئذ وحسب تطوير هذه النماذج وبناء آلات متخصصة في «المحاكاة العصبية».

توجيه المعلومة بالتوازي

لايوحد، في الوقت الراهن، تصنيف يُركَن إليه، وتعترف به مجموعات الجماعة العلمية، معطيات فيزيولوجية خاصة بأعمال الجملة العصبية المركزية. والأكثر أهيمة وأكثر دلالة من وجهة النظر الخاصة بالوظائف الزمانية في الدماغ توجد معروضة أدناه.

بادىء ذي بدء، يبدي الدماغ عمارة متوازية توازياً رفيعاً. الأمر الذي يعني أنه، عندما تسري معلومة من نقطة إلى أخرى من الدماغ فإنه بصورة عامة لا يوجد ليف عصبي مباشر، وحيد، مكلف تخصيصاً بتأمين هذا الإرتباط. وفي معظم الأحيان، يتماس عصبون معين مع عصبونات عديدة نحو السافلة. والعكس، يستطيع هذا العصبون أن يتلقى ويكامل أجوبة مئات وحتى ألوف العصبونات في الأعلى. فوق ذلك، أظهرت دراسات لاشلي في الفيزيولوجيا العصبية أن الذاكرة لم تكن، على النقيض من الناظمة الآلية، مموضعة لعنوان جد دقيق. وفي دراسة الدماغ، يكون السلوك الإجمالي لمجموعة عصبونات مترابطة فيما بينها ومستعملة في تواز بنفس القدر من الأهمية، وحتى أكثر أهمية من الخطوط الخاصة من عصبونات متنوعة بالمعلومة. ويقال إن المرأى «شبكة» يرجح على المرأى «تضفير».

ونستطيع أن ندرك حدسياً بأن الرنين القسرى يستقر في مثل هذه الشباك، مسبباً مزامنة نشاط مجموعات عصبونات متسعة، وانفراغات هذه العصبونات معاً، يشكل رشقات متكررة، تستطيع أن تولد نوسانات (ذبذبات) في الكامن الكهربائي سعته كافية حتى يكون ظاهراً (مكشوفاً) خارج الدماغ بالذات. وهذه هي حقاً حالة الموجات المسجلة في الصور الدماغية الكهربائية، بفضل مساري موضوعة على سطح فروة الرأس. والموجات «ألفا»، الأكثر انتظاماً تكون ملاحظة لدى الأشخاص المستيقظين لكنهم مسترخين، عندما يكون انتباههم غير ملتمس. إنها على ما يحتمل تنشأ في «التشكل الشبكي» في قاعدة الدماغ ولا يبدو أنها يمكن أن تكون ناشئة إلا بمزامنة انفراغات عصبية لملايين العصبونات، إن دورها الذي يبلغ قرابة عشر الثانية ربما يمكن أن يكون مقابلاً لزيادة زمن تحليل الإنطباعات المتلقاة، أو تلخيص الحالة الداخلية للدماغ، وفق سيرورة تكرارية. إجمالاً، ربما تستطيع الأمواج الدماغية أن تناغم مراحل مختلفة من النشاط الذهني. وقد لوحظ، بالفعل، بأن حساسية الإدراك الزماني لدى القرد ولدى الإنسان كانت تتوقف على الطور الذي خلاله كان التنبيه قد طبق. إن فلاشَي (ومضتي) ضوء مصدرتين بفاصل زمني جد قصير يكونان مميزين تمييزاً أفضل عندما يطرأ التنبيه خلال الطور المتزايد لموجات ألفا.

وتتدخل ميكانيكيات تآزريه أخرى من أجل اصطفاء شبكة خاصة من العصبونات بتأثير تنبيه مُعطى. ويشرح تفعيل مثل هذه الشباك التي تتيح العديد من طرق سير المعلومة لماذا يقاوم الدماغ مقاومة جيدة للغاية الأعطاب الصغرية لبعض «مركباته». ويقدر بعض الباحثين أن إنساناً بالغاً يفقد كل يوم قرابة ألف عصبون، بيد أن وظائفه الإستعرافية لا تبدو متضررة من ذلك بشكل لافت للأنظار!

لقد أطلق التصنع في الناظمة الآلية للشباك العصبونية، على ما يبدو، ڤون نومان، الذي كان يريد أن يتحقق من الخواص الجديرة بالثقة للشباك والبُنى «المتوازية». ففي هذه البُنى يكون تحويل إشارة دخول إلى إشارة دخول إلى إشارة

خروج، معهود فيه، لا إلى عنصر حسابي وحيد، بل إلى العديد من العناصر المتشابهة الموصولة على التوازي. في هذه الأيام، حصلت النماذج «الوصلية» المشتقة من هذه الدراسة على نتائج غير مؤملة في كثير من المجالات الأخرى. إنها تلقى ضوءاً جديداً على مسائل التعلم والتعرف على الأشكال، بشكل يبلغ حداً من الجودة تظهر معه في السوق، تحت تسمية «ناظمات الية عصبية»، آلات جديدة مكيفة (ملاءَمة) مع هذه المسائل.

إن البحوث حول التآذرية العصبونية والتفعيل الإصطفائي للشباك في خط الوصلية هي في أوج النماء، وقد حققت الآن نتائج مدهشة. مثلاً، استطاع تيرّونس سيجنوفسكي، في معهد ماسا شوسيت للتكنولوجيا، أن يعلّم شبكة «عصبونات» صناعية تدعى «NETTALK» ومجهزة بمكبر صوت كيف تتفاعل مع معطى نص انكليزي بحيث تلفظة لفظاً صحيحاً. وقد تم الحصول على هذه النتيجة في عدة جلسات تعليم، دون أن يقدم مسبقاً للآلة أي برنامج نوعي، ويجب ملاحظة أنه على غرار الدراسات الأولى حول الناظمة الآلية، تتناقض هذه النجاحات التكنولوجية مع الندرة النسبية للقرائن الصلبة فيما يتعلق بالإستعمال الواقعي للمبادىء المقابلة في الدماغ البيولوجي. أضف إلى ذلك، أن معظم النماذج المستعملة في هذه الأيام تعطي صورة سكونية للدماغ: إنها توحي كيف يمكن أن تكون الذاكرة موزعة في الدماغ ومستعادة في شروط خاصة للتنبيه، لكن دون إيضاح إعمالها الديناميكي - ويكون الوضع مماثلاً لوضع بدايات الميكانيك الموجي الذي يتيح الحصول على طيوف الطاقة لحالات المنظومات المستقرة، لكن دون التوصل إلى وصف تطورها في الزمان. مع ذلك، ظهرت مؤخراً نظريات جديدة ترجح دور تآذرية ديناميكية للعصبونات. وتتضمن لدونة ذات ثابت زماني ضعيف للمشابك. ويبدو البعض من بينها أنه يقود إلى نتائج مثيرة للإهتمام في مجال التعرف على أشكال قيد تشوه مستمر (كما هو الحال في مسألة التعرف على وجه الجدة ضمن زاوية ما).

على الدماغ أن يقارن باستمرار المعطيات المحسوسة التي يزود بها النظر والسمع واللمس من أجل تحويلها إلى أوامر محركة. والاحداثيات الطبيعة المستعملة بالحواس وبالأعضاء المحركة من حيث عدم كونها الشيء نفسه، فالمقارنات بين معطيات مختلف الحواس، وكذلك تحويلها إلى قرارات تنصب على أفعال محركة، تتضمن تحويلات إحداثيات، بالمعنى الهندسي للعبارة. وقد بدأنا نفهم في أي شيء تكون شبكات العصبونات أدوات ملاءَمة مع هذه التحويلات، وكيف أن هذه الميكانيكيات تتضمن وجود خرائط في الدماغ مثلية الشكل بغموض مع المعطيات الحسية، أي تقلد مسقطاً أكثر أو أقل مشابهة للطوبوغرافيا الطبيعية للتنبيهات الخارجية: خرائط شبكية موضعية للقشرة البصرية، وللجسم الركبي الوحشي، والأكيمة العليا؛ خرائط سمعية؛ خرائط حسية حركية للقشرة، على طول شق رولاندو، الخ.

مثلاً، تكون جملة الإحداثيات الطبيعية أكثر بالنسبة للنظر هي جملة محاورها مرتبطة، من جهة، بالهندسة الكروية للشبكية، ومن جهة أخرى، بحالة توتر العضلات محركة المقلة. إن جملة الإحداثيات الطبيعية أكثر بالنسبة للساعد أو الساق ذات طبيعة قطبية، بمقدار ما يكون وضع نهايات هذه الأعضاء يتوقف على زوايا الدوران - أو توترات العضلات المُثْنيّة وضَوادّها - لمختلف المفاصل، ويجب على الدماغ والحالة هذه أن يقوم بتحويل للإحداثيات، بين الإدراك البصري لجسم (لشيء) والأمر المحرك كي يستطيع الساعد أن يصل إليه.

في الهندسية التحليلية، تتم تحويلات الإحداثيات بضرب الشعاع الممثل لإحداثيات المبدأ بمصفوفة تعين عناصرها نمط التحويل الذي يجب أن يُجرَى. ويصف الشعاع الناتج الإحداثيات الجديدة. إن العصبونات هي مركّبات ملاءَمة جيداً على هذا النمط من الحساب. وبالفعل، في عملية ضرب مصفوفات، تحصل على مُرَكّبات الشعاع الجديد Ni بشكل مجموع متوازن لمركّباب الشعاع القديم Ai، باوزان Bij مُعطاة بالمصفوفة التحويلية ($Ni = \sum j \ Bij \ Aj$). ويكون في مجموعة

عصبية، نشاط الخروج للعصبون Ni هو أيضاً مجموع متوازن لمختلف نشاطات عصبونات الدخول (Aj)، وكون الأوزان مثبتة بالفاعلية Bij للمشابك التي تصل العصبون i بالعصبون j ويمكن أن تكون الأمثال Bij بالطبع موجبة أوسالبة. يفترض أن تقابل الأمثال السلبية في الدماغ، مشابك مثبطة.

ترميز المعلومة

في ليف عصبي معين يحتازه قطار دفعات يجب أن يكون ترميز المعلومة من طبيعة زمانية. فالدفعات العصبية المنقولة بمحوار بعينه تكون كلها ذات سعة واحدة وذات شكل واحد بالتالي، ليس بتغيير (تعديل) هذا الشكل يستطيع العصبون أن ينقل المعلومة. يجب أن يعتمد هذا العصبون على الفواصل، أوقات الصمت، التي تفصل الدفعات المتتابعة. من وجهة نظر موضعية، يجب والحالة هذه أن تقترب منظومة الترميز المستعملة بالدماغ من تعديل التواتر أكثر مما تقترب من تعديل السعة.

وحتى ماضٍ قريب، اعتُقد أن المعلومة المنقولة موضعياً كانت ترتكز ببساطة على التواتر الوسطي الإنفراغي للخلايا العصبية، وأن ترتيب هذه الإنفراغات في الزمان كان اتفاقياً بشكل محض. بعبارات أخرى، كان يُقدر أن عدد الدفعات في الثانية وحده، لكن ليس توزع هذه الدفعات في الزمان، كان ذا دلالة فيما يتعلق بجواب عصبون على تنبيه معين. بيد أن راموزاً موضعياً مؤسساً بشكل استثنائي على التواتر الوسطي للإنفراغات ربما لا يكون لدناً بما فيه الكفاية حتى يأخذ بالحسبان استطاعة وأمانة الدماغ[1]. إن ابحاثاً جارية يبدو من جهة أخرى

(١) الاستطاعة كلها، من هذا القبيل أن الدماغ يختزن في ذاكرته حشداً من التفاصيل لا يشك فيه، يمكن إبرازه عند الحاجة، كما يتحقق من ذلك غالباً في الدعاوى الجنائية في غضون إعادة التمثيل. الأمانة كلها، لأن قادر على أن يختزن، سنة بعد سنة، كمية ضخمة من المعلومات تحفظ بعدئذ دون تشويه. وإنها لتجربة شائعة أن تكون بعض الحوادث المدفونة منذ زمن طويل في الذاكرة صعباً أو بطيئاً جعلها تبرز، بيد أن تفاصيلها لا تكون حتى من أجل هذا مشوهة. وفي نموذج مكاني (شبكة) للذاكرة تكون الحوادث التي يجب ترسيخها في الذاكرة تكون تقريباً متكدسة بعضها على البعض الآخر في الحالة الكامنة في مجموعة خلايا عصبية برمتها مع مشابكها، وتكون، في كل معطى مسجل، الأوزان المشباكية - أي لجماعة المشابك - قد تغيرت، حتى بشكل غير محسوس. ويصعب فهم كيف تظل الطبيعة الصحيحة للذاكرات التي سبق تسجيلها لا متغيرة.

أنها تظهر أن كمية المعلومة المرمزة في شكل علاقة زمانية متبادلة في قطار دفعات عصبية - فيما يتجاوز مجرد التواتر الوسطي للإنفراغات - تزيد بشكل منتظم في المنظومة البصرية عندما تنتقل المعلومة من العصب البصري إلى الجسم الركبي الوحشي، إلى القشرة البصرية، وأخيراً إلى القشرة الصدغية حيث تقطن. على ما يبدو، الدارات الرئيسية المتضمنة في التعرف على الأوجه[1].

فيما يتجاوز التواتر الوسطي للإنفراغ، ربما يمكن والحالة هذه أن تكون المعلومة منقولة ومرمزة في البنية الزمانية للقطارات الدفعية، في فترات الصمت شبه الطويلة التي تفصل مختلف الدفعات العصبية، نوعاً ما كما هو الحال في الراموز مورس. ونعرف أنه، في هذا الراموز المستعمل قديماً من أجل الإرسال الكهربائي للبرقيات، يكون الطول النسبي للإشارات، نقاط وخطوط، هو ما يتيح تمييز أحرف الهجائية العادية. وفق هذه الفرضية، ربما يمكن أن تكون المعلومة المنقولة من موضع إلى موضع في الدماغ على طول طريق معين مكشوفة بدراستنا دراسة جدّ دقيقة للعلاقات الزمانية المتبادلة بين مختلف الدفعات التي تشكل «جواباً» عصبونياً.

اقترح، في لوس أنجيليس، في عام ١٩٦٩، ستريهلر بأنه ربما تستطيع زمر مشابك متخصصة أن تكشف وتنخب، في داخل قطار دفعات، بوساطة ميكانيكية إنذار مكاني، تلك التي تكون تخصيصاً صائرة إلى الخلية التي تنتمي إليها؛ فالخلية ربما لا تنطلق إلا بشرط أن تقع الدفعات العابرة بالليف الوارد نفسه، أو بالياف تنتمي إلى التشجرات النهائية نفسها، معاً أو تقريباً معاً على كل من المشابك المعنية. ويفترض أنه ينضاف إلى هذه الميكانيكية ميكانيكة أخرى للتيسير الزماني للمشابك التي ربما تتيح في النهاية لليف المشكل بزمرة محددة من المشابك أن لا تستبقي،

---

(١) حسب قياسات حديثة العهد جداً، ربما تكون كمية الإعلام المنقولة بليف عصبي وحيد، المقاسة وفق المعايير المعرفة بنظرية شانّون حول الإعلام، على الأقل من مرتبه ٤٠٪ أعلى من المعلومة المنقولة بالتواتر الوسطي للإنفراغ وحده في العصب البصري، و٩٠٪ أعلى من هذه في الجسم الركبي الوحشي وفي القشرة البصرية الإبتدائية. ومن مرتبه ١٢٥٪ أعلى في القشرة الصدغية، المرحلة النهائية الإعتيادية لمهمة التعرف على الأشكال.

وتثبت في الذاكرة وتنقل إلا بنى الدفعات الموافقة للبنية الأصل وحدها. وتوجيه المعلومة المتخصصة ربما يستطيع والحالة هذه أن يتم نحو أهداف دقيقة التحديد.

حسب النموذج المقترح، ربما تستطيع المعلومة أن تكون مرمزة بطريقة تعددية، وفائضة، بدوافع قصيرة، مثل تثليثيات من الدفعات، متكررة بطريقة مماثلة في القطار نفسه، ومتعرَّف عليها بتجمعات المشابك المتخصصة، وربما يتيح النموذج فوق ذلك شرح كيف أن عدة معلومات ربما يمكن أن تكون مخزنة في الذاكرة في مجموعة مشابك بعينها، وكيف أن معلومة معينة تعيناً دقيقاً ربما يُستطاع أن تكون مستخلصة اصطفائياً. فدراسات حديثة العهد جداً يبدو أنها تظهر أنه في الواقع توجد حقاً مثل هذه البنى المتكررة في قطارات الدفعات المسجلة في الدماغ، على الأقل في منطقة القشرة البصيرية، وهي الوحيدة التي كانت قد درست من هذه الزاوية حتى الوقت الحاضر. لكننا لا نزال نجهل الوظيفة الدقيقة التحديد لهذه البنى المتكررة.

تنسيق وتوجيه العضوية

تشكل الميقاتية القطعة الأساسية في ناظمة آلية، حتى في باطن الوحدة المنطيقة المركزية. فهي تقود تنفيذ البرنامج، خطوة فخطوة، بفضل شحن السجلات، مقارنتها وفق وظيفة منطقية، وخزن النتيجة في ذاكره. في هذه النقطة على الأقل، تتبع النماذج الأكثر حداثة للدماغ النموذج المثالي الصنفي. ففي نموذج توصيلي مثلاً، تكون حالة الشبكة النورونية متفحصة في فواصل منفصلة، خطوة فخطوة. في الزمن صفر، تكون التنبيهات الخارجية مصورة (مظهرة) بالنشاطات المفروضة لبعض عقد الشبكة التي تمثل العصبونات. والحالة الناتجة للشبكة. إثر اتصالات ما بين عصبونية، تكون بعدئذ متفحصة وتكون الأوزان المشباكية (أي الفعالية النقلية من عقدة من الشبكة إلى أخرى) حينذاك محكمة من باب الإحتمال، وتتكرر الدورة في النماذج التي تكون فيها المعلومة مرمزة بشكل علاقات متبادلة زمانية بين دفعات متتالية، يوجد بالضرورة زمان تكامل أصغري

كي تكون العلاقات المتبادلة «مُزالة الترميز» و «الرسالة» مفهومة أو مختزنة في المجموعات المشباكية المتضمنة. في هذه الحالة، بالفعل، لا تتكون الرسالة من حادثة آنية أو شبه آنية، شأن دفعة وحيدة، بل من زمر دفعات موزعة في الزمان، ومتكرر بوجه الإحتمال.

توجد في الدماغ ميقاتيات عددها كبير جداً، وقد تعلمنا أن نتحقق من هوية بعض منها، ويحتمل أن لا توجد ميقاتية رئيسة. ونظراً للمرونة الكبيرة التي يحدثها الإعمال على التوازي للدماغ، لا يبدو لازماً أن تكون جميع العلميات المنطيقة مُقَادة بميقاتية وحيدة بعينها: ربما يكون ممكناً أن تكون مُقَاده بعدة ميقاتيات لا مركزة أضف إلى ذلك، أن موجات الدماغ تبدو مُوَقِّعَة وظائفه التكاملية و«والحاسبة للزمان» المتتابعة، نوعاً ما على غرار ما تفرض الميقاتية المركزية في ناظمة آلية إيقاعها على مختلف مراحل الحساب، على تتابع الخطوات المنطقية المنجزة. وقد اكتشف، في عام ١٩٨٨، أن عصبونات القشرة البصرية التي كانت تستجيب للمنبهات ذات العلاقة المنطيقة فيما بينها (مثلاً، تكون هذه العصبونات حساسة بقطع مضيئة تنتمي إلى حياط بعينه) ربما كانت ذات ميل إلى أن تنفرغ بطريقة متزامنة، كـ«نوسانات متماسكة». بيد أن التحقيقات النهائية **للوظائف** التكاملية والحاسبة للزمان المتتابعة هذه لا تزال منتقدةَ.

التفكـر

أخيراً، إن الدماغ هو الحامل الفيزيائي للفكر الواعي. وعليه والحالة هذه أيضاً أن يزود بتمثيل داخلي للعالم وللذات. تمثيل يتضمن قرارات حول المعطيات المحسوسة التي تستحق أن يبقى عليها وأن تستعمل كي يُبْنى «الأنا»، وحدة الأنا وتماسك العالم الخارجي. إن وحدة الأنا هذه وتماسك العالم الخارجي هذا ليسا بجلاء معطيات مباشرة. إنهما على العكس يتعلقان بنشاط دماغي بارع ومعقد.

رغم كوننا بعيدين عن معرفة ميكانيكيات بناء الأنا هذا وأن نفهرس كل جوانبه، يبدو مؤكداً أن الوظائف الزمانية للدماغ تلعب في ذلك دوراً كبيراً. وقد

رأينا للتو، بالفعل، أن النشاطات الإدراكية، والمذكراتية، والإستدعائية، لم تكن قد أنجزت آنيا بالدماغ، الأمر الذي يقود إلى تصور نشاطه منقسماً إلى «لحظات» مختلفة. وفي وظيفة الإدراك الحسي الواعي، ينبغي أن تكون لحظات الإدراك المباشر هذه أن تكون مستجمعة ومنصهرة، كي تستعاد فينا، كل سيولة جريان الزمان. لأنه يوجد، بشكل إجمالي، بلا جدال في الفكر الواعي والمتيقظ وظيفة خاصة، مكلفة بأن تقدر في كل آن «الزمان الذي يمر»: وهذا ما كان برغسون يدعوه «الدوام الصرف»، الذي هو تتابع حالات وعينا عندما تدع أنانا ذاتها تعيش.

زمان المبحث العصبي وزمان علم النفس

يدعو بحثنا والحالة هذه إلى اجتياز الحفرة التي لا تزال منفتحة التي تفصل علوم الأعصاب التجريبية، عن علم النفس التجريبي.

ويلح پول فريس، في دراسته **علم النفس الزماني**، بخاصة على مدتين حرجتين في الإدراك الحسي لدى الإنسان. **التواتر المفتاح** وقدره ١٠٥ هرتز هو ذلك الذي فيما يتجاوزه تنصهر الإنطباعات المتتابعة بعضها في البعض الآخر. وتشكل صورتان معروضتان بفاصل زماني قدره مائة جزء من ألف جزء الثانية صورة مركبة، كما في السينما حيث يكون هذا الإنصهار مستعملاً من أجل استرجاع الحركة. وهو أيضاً التواتر الأكبري من أجل العزف الموقع على ملمس كملمس البيانو، إذاً إعطاء أوامر محركة متتابعة ومتمايزة. وقد كشف پول فريس نفسه التطابق بين هذه المدة الحرجة ودور الإيقاعات ألفا لتصوير الدماغ الكهربائي.

الدور الثاني الحرج، ومدته ٦٠٠ جزء من ألف جزء الثانية تقريباً، يقابل الفاصل التلقائي بين تنبيه وجواب إدراكي مُعدَ، مثل تسمية شيء. ولكونه والحالة هذه إذا صح القول، «الدرجة» الخاصة الطبيعية، المستغلة بما هي كذلك في التوليفات الموسيقية (التقاسيم الموسيقية). على كل حال، وحتى لو كانت المدد المقدرة يمكن أن تكون مادة تقديرات متنوعة ـ وحتى أن تتغير من فرد إلى آخر ـ، فإن وجودها وتقطيع الزمان النفساني اللذين تضم بينهما لا يبدوان غرضاً للشك.

إن فكرة تقطيع - أو، إذا أردنا أن نتحدث حديث الفيزيائيين، تكميم - للزمان النفساني ليست فكرة جديدة. فهي قد مثلت قبلاً في مؤلفات ويليام جامس، الذي كان على ما يبدو أول من ناقش في الغرب هذه الإنفصالية لميكانيكيات الإدراك العقلية، التي «فتراتها» ينبغي أن تتتابع مثل صور ثابتة تتوالى في فيلم. «إن أعمالنا الإستطلاعية (الإستعرافية) أو الإدراكية لما هو كائن يجب أن تكون منفصلة» هذا ما كان يكتبه، إن شعورنا بالإستمرار في التتابع، الذي ندعوه المدة، يجب أن يكون والحالة هذه وظيفة استعرافية معدّة، من المفهوم أن «تتابع إنطباعات، في ذاته وبذاته، ليس انطباع بالتتاع».

تسارع الزمان المُعَاش

نشعر أننا نعيش وأننا نتحقق من الزمان الذي يمر، لكن أليس لدينا انطباع بأن هذا الزمان، الزمان المعاش، لا يجري جرياناً منتظماً؟ **ففي بعض الأحيان**، يتأخر في جريانه، على مقدار ضجرنا أو نفاد صبرنا (تلهفنا) لإثارة حادثة أو المضي لتلاقيها. **وفي أحيان أخرى**، يجري جرياناً سريعاً إلى حد أنه يصعب علينا متابعته. وقد كان بعضهم يقول بظرافه بأن الموت يفاجئنا عندما لا نعود نستطيع أن نجري بما يكفي لاتباع الزمان، عندما يصمم الزمان على أن يتجاوزنا إلى الأبد، نحن مجمعون تقريباً على تقدير أنه من الناحية النفسانية، وإلا فحتى بيولوجيا، أن الزمان يمضي بسرعة أكبر فأكبر مع التقدم في العمر. فشهر في المدرسة كان يدو لنا سرمداً. وشهر عمل في عمر النضوج يبدو قصيراً قصراً رهيباً.

إن الأسس النفسانية لمثل هذا الإنطباع معلومة بشكل جدّ سيء. في النطاق الذي يصعب فيه تكميم الإنطباعات الذاتية وبناء بروتوكولات تجريبية ربما نستطيع مقارنتها بطريقة عملية. أي قابلة للتوالد، لم يستطيع علماء النفس في هذه المسألة الحصول على نتائج. كان جامس يعتقد أن «إن الردح الزماني نفسه يبدو أقصر عندما نشيخ - هذه بالتأكيد حالة الأيام. والشهور، والسنين، وأن يكون أيضاً هذا هو حال الساعات أمر مشكوك فيه، والدقائق على الأرجح تظل هي عينها». بهذا

التأكيد، كان جامس يود على ما يحتمل أن يقول بأن الروائز النفسانية لتقدير المهل الزمانية التي مرت من قبل الأشخاص المعمرين أو من قبل الأشخاص الفتيان لا تختلف بشكل ممكن تقديره، عندما تتعلق هذه الروائز بفواصل زمانية قصيرة قصراً كافياً. لكن يستطيع أشخاص معمرون استطاعة جدّ جيدة أن يصححوا، في تنفيذ أنواع الروائز هذه، إحساسهم المباشر والحدسي بـ«سرعة» جريان الزمان. وفي الواقع، علينا أن نعترف أنه بالرغم في أبحاث پياجيه المعتنى بها وفريس وعلماء النفس المعاصرين، فإن أشياء قليلة معلومة بخصوص الإدراك النفساني للمدة، والعلاقات بين الزمان النفساني والميقاتيات البيولوجية.

ألا ربما يمكن أن يكون انطباع أن الزمان يجري جرياناً أسرع مقترناً بالتباطؤ التدريجي (المطرد) لميقاتية بيولوجية؟ إن التباطؤ (التقاصر) المحتمل لإيقاعات ألفا في غضون التشيخ ربما يستطيع قبلياً أن يشرح الإنطباع النفساني بتسارع للزمان (إذ أن الدماغ ربما يستخدم كمعيار زماني الدور بين نهايتين أعظميتين للموجات ألفا، فردح زماني فيزيائي بعينه ربما يكون مقاساً بعدد من الأدوار أقصر لدى الأشخاص المعمرين منه لدى الفتيان). إن تناقصاً خفيفاً في تواتر إيقاعات ألفا لقد لوحظ فعلاً لدي الأشخاص المعمرين، بيد أن هذا التناقص - من رتبة بضع بالمائة - يكون جدّ ضعيف لتحليل الإنطباع النفساني لتسارع الزمان، بهذه الميكانيكة.

زمان نفساني وحاضر

إن الأهمية الممنوحة هنا لتقطيع الزمان النفساني ليست طارئة. إنها تبدو لازمة لفهم كلمة أساسية من مُعاشنا ولمنحها معنى: «الحاضر». الزمان الذي كان يجري الحديث عنه حتى الآن، لدى ملاحظته عاملاً في الكون، في الطبيعة الفيزيائية والعالم البيولوجي هو بكل جلاء زمان مجهز بمتحهة (سهم)، بيد أنه ليس حتى من أجل هذا مقطعاً في المقولات المألوفة الثلاث **الماضي والحاضر والمستقبل**. باستعادة جملة شهيرة من جمل أنشتاين مع تصحيحها، ليس العالم على كل وجه حالياً ممتداً بكل بعده الزماني؛ إنه في الواقع «في صيرورة». مع ذلك فالفصل بين

ماضٍ وحاضر ومستقبل ربما يمكن أن لا يكون سوى «وهم». والزمانان الفيزيائي والبيولوجي موجهان بالتأكيد، بيد أنهما لا يشتملان على هذه الشريحة المميزة التي ندعوها الحاضر. إن الزمان، لكونه مستمراً بشكل أساسي، يمكن أن يُقَسَّم ـ كما سبق أن كان أرسطو قد لاحظ ذلك بين القبل والبعد، بيد أن «اللحظة» التي تفصل بينهما لا تستطيع أن تكون قطعة زمانية كما لا تستطيع نقطة أن تكون مختلطة بقطة من مستقيم.

طوبولوجيا، إن أدوات تجزئة كاللحظات والنقاط لا تستطيع أن تكون من طبيعة ما تقسمه عينها. باختصار إذا كان الحاضر بالنسبة لنا قطعة زمانية متحركة، فهي لا تستطيع أن تكون غير نوع من حاضر «سميك»، بدلاً من اللحظة الرياضية التي لا وجود زماني لها. إن مثل هذا التمييز بين حاضر سميك واللحظة التي لا سماكة لها كان قد سبق أن أشار إليه ريدموند هوسِّيرل وشارل بيرس.

والحالة هذه، إن الحاضر يقابل فاصلة زمانية من نوع ما، مشتملة على الأقل على وحدة إن لم نقل عدة وحدات زمانية نفسانية. بالفعل، إن القطعة الزمانية المتحركة أبداً، والتي في غضونها نعي الأحاسيس هي ما يصلنا ونعد الأعمال التي نكاد أن نشرع فيها. من وجهة النظر النفسانية، والحالة هذه، ليس «الحاضر» **بحصر المعنى** stricto scnsu على ما يحتمل مهماً أهمية المستقبل المباشر: فهو الذي يمنحنا، بالأعمال التي نعدها في اللحظة «الآن» عينها، حسا حاداً بالحاضر، وليس العكس. وقبل هايدغار سبق أن كان لبرغسون هذا الرأي، عندما كان يكتب أننا نقدر درجة **واقعية** الأشياء بدرجة فائدتها، بـ«سوية التأثيرات الممكنة لجسمنا عليها».

أفق المستقبل

بيولوجياً، يبدو أن النماء العجيب للفص الجبهي البشري في غضون مليون السنين الأخير يقابل تطور كفاءتنا لتوقع المستقبل، لتوجيه نظرنا دائماً إلى أبعد. إن نوعية الزمان النفساني البشري تعتمد والحالة هذه أكثر، على ما يبدو، على

استطاعتنا أن نتوقع المستقبل (المصير)، بالأحرى أكثر منها على كفاءتنا على تثبيت الماضي في الذاكرة. الذاكرة لازمة لتوقع المستقبل، لكنها لا تكفي: فللحيوانات كفاءة عالية للتثبيت في الذاكرة، لكن ليس لها غير أهليات رديئة في الممارسات التوقعية للمدى البعيد. إن إحدى نوعيات الإنسان الأساسية في وظائفه الإستعرافية تتعلق والحالة هذه بالأفق الزماني الذي توسع لديه توسعاً كبيراً نحو المستقبل، بشكل يتصل بلا ريب بنماء فصه الجبهي. وعلينا مع ذلك أن نتفرس هنا في مسألة الإختلال بين ظهور العضو وظهور الوظيفة: فإذا كان تنامي القشرة الدماغية يعود إلى ما يقرب من مليون سنة، فإن الإستطاعة الإسقاطية الذاتية في المآل البعيد لا يعود تاريخه، حسب كل المظاهر، إلا إلى ما يقرب من عشرة آلاف سنة. والآثار الأثرياتية الموروثة عبر الحضارات الماضية توحي فعلاً أنه في كون ما قبل التاريخ الثقافي، قبل هذه المرحلة، كان القلق الميتافيزيقي فيما يخص المآل البعيد مفقوداً. فما الذي حصل في غضون ذلك؟ وكيف كان علم النفس الخاص بالزمان لدى أسلافنا **البشر المنتصبين** أو **البشر المكتسين**؟ نستطيع افتراض أنه قد أمكن أن يعقب انفجار **الإستطاعة** الدماغية **إعادة تنظيم** بطيئة، برمجة تدريجية للدماغ في وظائفه الذهنية.

* *
*

نستطيع من الآن أن نحدد بدقة الخطوط العريضة للزمان في العلوم العصبية. ونعرف من الآن ميكانيكيات حصول وانتقال الدفعات العصبية، ومن المؤكد أن هذه الدفعات العصبية تكون مستعملة من أجل الوظائف الإستعرافية للدماغ. وإن لم تكن معلومة كلياً، ميكانيكيات الذاكرة، فإنها تبدأ بأن تكون منكشفة. ويُعتَقد أنها تتضمن تعديلات للحالة الفيزيا-كيماوية للعصبونات، وعلى الأخص في مناطقها المشباكية. وهذه التعديلات قد تستطيع أن تتيح إعادة، حين الإستدعاء إلى الذاكرة، لشكل نشاط عصبوني مماثل أو قريب من النشاط الذي كان مقترناً بالحادثة

البدئية. أخيراً، إذا كنا لا نزال نجهل كيف أن هذه الإشارات تكون بالفعل مستعملة من أجل المحاكمة المنطقية والسلوك الإرادي، فإن النماذج الراهنة التي تحاول تحليلها تشدد أكثر فأكثر على دور الزمان السامي في هذه الوظائف بتزامنية الإشارات و/ أو تكرار البواعث الزمانية التي تكونها.

وإذا كان وعي الذات قد رُفع إلى سوية نوعياً أعلى لدى الإنسان مما هو الحال لدى الحيوانات، فذلك بحق عبر هذه الأهلية الزمانية للدماغ، وتوجهه نحو المستقبل. وقد كان مارتن هيدغار يشدد على الروابط العضوية بين **الأنا** والإستباق: **كان يكتب** «ظاهرة الزمان الأساسية هي المآل. لكي نفهم ذلك دون السعي لوضعه كمفارقة مثيرة للإهتمام، ينبغي أن يبقي على نفسه في استباقيته». كيف لا نتعرف هنا على حدس حقيقة عميقة، تمس بالضبط الإنسان في علاقاته بالزمان: **ذاتنا**، **أنانا** مؤسسة على **اليقين** بأنه، في اللحظة التي تلي، في دقيقة، في يوم أو في سنة، سوف نكون عين ذاوتنا وسوف نتابع دائماً الترضيات نفسها، المبتغيات نفسها، ونقتات بالأماني الأساسية نفسها؟ من الناحية الفيزيولوجية، يحتمل أن يكون الإنسان بشكل أساسي «عصبونياً»، إلا أنه يكون، نفسانياً، بخاصة «زمانياً».

* * *

خاتمة

إن المغامرة العلمية، التي بدأت من حيث الأساس منذ أقل من /٤٠٠٠/ سنة، سبق أن أتاحت لنا أن ندير ظهرنا لبعض علوم الأساطير (العود السرمدي، الساعات غير المتساوية، وفي وقت أكثر قرباً، الزمان المطلق والكلي)، وأن نستكشف على التوالي الجانبين الرئيسيين والمتكاملين للمفهوم الزماني، بخلقنا من أجل ذلك مفهومي السببية والأنطروبيا الملائمين[1].

غير أن المسائل المتعلقة بالزمان، بالسببية، بالأنطروبيا تجاوزت هي أيضاً إطار الإنشاءات العلمية. وقد كانت هي أيضاً في قلب استفهامات أصحاب العقول الثاقبة أكثر في الفسفة، المسلحين بمعارف مرحلتهم وحدها. من بين هؤلاء، كانط وهيغل وبرغسون يحتلون بلا منازع مكاناً سامياً. ومن المفيد أن نضاهي، ونحن نوشك أن نختم هذا الخطاب عن الزمان (لا أن ننطق باستخلاصات نهائية، خارج متناول المنهج العلمي، بخاصة حول موضوع كهذا)، إرشاد العلم المعاصر بحدوس هؤلاء المفكرين الثلاثة.

السببية المطروحة للبحث مجدداً

أكدت لنا نظرية النسبية أن **الزمان لا يرجع القهقرى أبداً**. وذلك يصح في الميقاتيات الميكانيكية الطبيعية أو التي بناها البشر، كما في الميقاتيات التيرموديناميكية التي تستعمل الخواص الإشعاعية للذرات، أو أيضاً في الميقاتيات البيولوجية التي

(١) الأمر الذي لا يعني، بل العكس، أن يكون الإستكشاف حول هذه النقطة قد اكتمل، ولا أن يكون المعنى الذي نمنحه في هذه الأيام لهذه المفاهيم قابلاً تنقيات جديدة. لكن يوجد ثَم بالضبط معنى المشروع العلمي: قبل السيطرة على الطبيعة وإخضاع القوى من أجل استعبادها لمنفعتنا بالتكنولوجيا، يعني الأمر أكثر كثير بالنسبة لها أن نكيف تدريجياً لغتنا مع الطبيعة.

تبدد إيقاعاتها الداخلية أنطروبيا. وتنسجم السببية الفيزيائية مع تعريف الزمان كدرجة حريةٍ: وتحافظ المواضيع (الأشياء) التي تستعملها على هويتها وهي تتنقل في اتجاه يدعى «مصير»، **يظل أبداً هو بعينه**.

بيد أن نظرية النسبية تتوج رؤية إلى الزمان أكثر دقة بكثير مما تدعنا نفترض خاصة اللاعودة هذه. إنها تجعل من السببية مثالاً ترتيبياً كلياً، خاضعاً لعدم تغير سرعة الضوء، التي تأخذ قيمة C في جيمع الجمل المرجعية الممكنة. وقد دفعت كلية هذا المثال الفيزيائيين إلى تقديم تفسير سببي للزمان.

لكن الآن ما عاد يُستطاع تقليص الزمان إلى تفسيره السببي. لقد أظهرت قوانين الميكانيك الكوانتي، وعلاقات عدم التعيين لهيزنبرغ، ومبدأ تراكب الحالات الكوانتية وظواهر اللاإنفصالية التي تنتج عنه الإختلال الذي يوجد بين الواقع في ذاته وهذه القاعدة الفكرية. ومن أجل أن تعاد إلى السببية كل قوة مثال كلي، ينبغي أن نجد لها تعريفاً أكثر دقة مما كان يود المركيز دي لايلاس. وحيث أن الحتمية لا تملك هذه الكلية (الشمولية) التي كانت تتيح مماثلتها بالزمان، فإن مآل العالم ليس على ما يحتمل مندرجاً برمته في حالته الحاضرة[1].

هذا المنظور يدنينا من كانط، الذي كان يجاهر برأيه أن المكان والزمان لم يكونا خاصتين للطبيعة في ذاتها، وأن السببية لم تكن قط توسع حكمها ليشملها.

كانط واسترداد الحرية

بالنسبة لكانط، يكون المكان والزمان مقولتين للإدراك (للذهن)، أي فكرتين فطريتين تتيحان لنا أن نرتب العالم، بيد أنهما لا تنتميان بكليتهما إلى الطبيعة: إنهما يعكسان جزئياً بنى عقلنا. أضف إلى ذلك، إن إدراكاتنا لا تسلمنا إلا نسخة، سبق أن فُسِّرت، للعالم، بالضبط عبر مقولتي المكان والزمان هذين.

(١) رغم الطابع الموجز لهذا التخطيط، لنلاحظ أن نظرية الإنشعابات في تيرموديناميكا السيرورات اللاعكوسة سبق أن أتاحت لنا أن نفهم كيف أن المآل (المصير) ليس مؤكداً دائماً، في حين أن الطريق المتبع فعلاً يتعلق بخواص البيئة أو بالفوضى الكلية التي ربما لا تتيح أي توقع مبكر.

ولا يحصل إلا في هذه النسخة المفَسَّرة للعالم، نسخة «الظواهر»، أن تطبق السببية.

العلم لا يقول ذلك بالضبط. فالواقع في ذاته يكون بالتأكيد خاضعاً لقانون قريب من السببية، حتى لو لم تكن السببية التي تطرحها النظرية الأنشتاينية في النسبية. بالتأكيد، لقد ألح كانط، في مواجهة الزمان المطلق و«الالهي» النيوتوني، بحق على الجانب الإستعرافي، والنفساني والإيپستيمولوجي لهذا المفهوم. إن زماننا ليس هو زمان الطبيعة الخام؛ فهو يوجد في منتصف الطريق بين الأشياء وبيننا، حتى أقرب الينا من الأشياء. لكن منذ أن نعرف الفصل بين الزمان والسببية، ومنذ أن نعرف حدود قابلية تطبيق هذا المفهوم الأخير، لا يبدو لازماً اللجوء إلى الخدعة الكانطية من أجل أن تفتح في الطبيعة ثغرة فيها ربما تستطيع الحرية أن تدلف. وهذه، في الواقع، يحتمل أن لا تكون إلا ميزة خاصة للزمان الأنطولوجي، نوعاً من المطابقة (المُلاءَمة) العميقة للصدفة مع الطبيعة، الصدفة التي ربما لا تكون من العمى بقدر ما يقال عنها. وقد سبق أن كان سپينوزا وليبنز يريان في الحرية امتثالاً للتدفقات العميقة التي تعبر الطبيعة. وربما تستطيع الإيپيستيمولوجيا العلمية حقاً أن تلحق بهما غداً حول هذه النقطة.

هيجل أو الدوام الديالكتيلي

كان هيجل قد جعل من الصيرورة «شكل وجود الطبيعة»، وفي ذلك تقربنا الحركة الحديثة العهد للعلم أيضاً منها. لكن كان هيجل في الوقت نفسه قد نفى الواقع، بحبسه إياه في دياليكتيكه كما في فكي كماشة. والواقعي، بعيداً عن أن يحظى بالبقاء، يولد في كل آنٍ من العدم ويعود إلى العدم: «والحقيقة ليست لا **الوجود** ولا **العدم**، بل واقع كونَ **الوجود** قد مرَّ (وليس يمر) في **العدم**، و**العدم** في **الوجود**. . .، وحقيقتهما تكون والحالة هذه هي حركة اختفاء أحدهما في الآخر الفورية هذه» إن المقاربة الهيجلية، بمثاليتها المطلقة، تكاد أن لا تتيح أن نجعل من الطبيعة موضوع (مادة) استقصاء علمي ضمن منظور واقعي وبخاصة أن نعزو

للزمان أو للصيرورة خواصاً موضوعية، كالسببية. طبعاً ما يتأكد ثانية، لا تبدو السببية ملائمة من أجل تمثيل خاصة موضوعية للطبيعة. لكن من أجل أن تستجوب طبيعة الصيرورة الحقة بأدوات العلم أو الفلسفة، ينبغي على الأقل أن نقر بوجود شكل سببي ما. الأمر الذي بدونه، ربما لا يستطيع الحاضر أن يخبرنا عن المآل (المصير)، وقد يصبح العلم عاجزاً. والأسوأ من ذلك، ربما لن يستطيع الحاضر أن يقول لنا شيئاً عن الحاضر، إذ، كما كان هيرڤي بارّو يدعونا مؤخراً إلى ملاحظته، «إن الصيرورة. . . هي التعديل الذي يكابده مجموع الواقع ويمارسه في الحاضر». إن علم النفس يتوافق مع هذا الاستنتاج، الذي يرى في حاضرنا، حسب التحليل البرغسوني، غلاف تأثيرات جسمنا الممكنة على الصور.

نحو أنطروبيا موضوعية

إن التقدمات التي تمت في فهم وتهذيب مبدأ التيرموديناميكا الثاني ودوره في الطبيعة تساعدنا على معرفة المزيد عن طبيعة الصيرورة. وبفضل مفهوم الأنطروبيا، نحاول أن نؤكد طابع الصيرورة المطلق، واقع التغير في العالم (مهما كان، في تحليله الأخير، جوهر هذا العالم النهائي). منذ قليل، كان معظم الفيزيائيين يترتبون بتصميم في مدرسة «الواقعية»، تلك التي تجاهر برأيها أن النظرية الفيزيائية تعالج الواقع في ذاته، بشكل مستقل عن أي ملاحظ. ومن وجهة نظر المماثلة بين الزمان وبين السببية، كان هؤلاء الفيزيائيون أنفسهم يجاهرون برأيهم أن الحتمية الآلية mecaniste والقواعد النسبوية لانتشار الأسباب كانت تنطبق على الواقع في ذاته. وقد كانوا خلافاً لذلك يقرون أنه لم يكن للأنطروبيا دلالة موضوعية بشكل محض، للسبب الكافي الذي هو أن هذا المفهوم كان يصف تطور (تحرك) المنظومات نحو حالات «محتملة» أكثر فأكثر، وأن مفهوم الإحتمال كان من طبيعة ذاتية بشكل لا يمكن انكاره. صحيح أن الأنطروبيا تحافظ على علاقة متينة مع المفاهيم الترتيبية والإعلامية، التي يكاد كل الناس يعتقدون أنها لا يمكن أن تكون مرتبطة بالواقعي في ذاته، بشكل مستقل عن كل مشروع ذاتي (إذ أن ترتيباً يحكم عليه نسبة إلى مشروع، لقصد خاص) أو عن كل ملاحظ. لكن هل إن الترتيب أو

اختلال الترتيب هما حقاً خاصان بمشروع؟ ويمكن أن نتصور اختلال ترتيب مطلق: ذلك الذي لا يمكن أن يكون مرتباً بأي مشروع، بالنسبة له ربما سوف لن يوجد أي مفتاح للقراءة. يحتمل أن يكون جوهر العالم قد خرج من فوضى كونيه خاصتها الرئيسية ـ الوحيدة ـ ربما تكون عدم قبول أي ترتيب محدداً على يد أي ملاحظ كان، وربما تكون والحالة هذه من هذا القبيل، فوضى موضوعية. على هذا الحال، ربما سوف يمكن أن يعقب الواقعية السببية وذاتوية الأنطروبيا منذ وقت قريب، غداً، ذاتوية للسببية (على الأقل كما قد عُرِفَت في الكتب الوجيزة عن النسبية) وواقعية للأنطروبيا، أو لشيء ما يشبهها.

إنه لفي اللعب بين الزمان والصدفة علينا أن نتوقع تقدمات جديدة في استشكاف وفهم الزمان. وينقصنا، من أجل رفع زاوية من القناع جديدة، رؤية واضحة حول الفرق بين الصدفة الواقعية، قيد العمل في العالم والمجازفة الرياضية، التجريدي، التي تكون بالطبع غير قادرة على قيادة **الكون**، والأشياء والموجودات نحو قدرها. والزمان يقيم على ما يحتمل في هذا الفرق بين المجازفة الرياضية والصدفة الواقعية. إنه لفرق أصغري من حيث الظاهر، بيد أنه يستطيع وهو يؤثر في الجزيئات التي تعد $(10)^{80}$ والتي يحتو بها **الكون**، ويسيطر كسيد على الخواء عينه وبخاصة على الخواء البدئي الذي به بدأ كل شيء، يستطيع أن يصنع الصيرورة. ونستطيع حينذاك أن نأمل بأن نفهم فهماً أفضل العلاقة الصحيحة بين الحتمية والتجديد (الإبتكار)، هذه المسألة الأساسية للفلسفة، وأن تمنح مضموناً لقضية برغسون هذه: «إن الزمان هو اختراع أو ليس شيئاً على الإطلاق».

المادة والدوام والحياة لدى برغسون

كان برغسون، بعكس كانط، يقر بأن الزمان يوجد في قلب المادة: فبعيداً عن كونه صعباً إدراكه، يكون إدراكه مباشرة سهلاً علينا، ليس بالعقل، بل بالحدس. «وصحيح أن العقل يبني مفاهيم وهذه المفاهيم تبني بنية الواقعي. لكن الحقيقة هي في أن يستطيع عقلنا أن يتبع المسيرة المعاكسة. إنه يستطيع أن يقيم في الواقع

المتحرك، بتبنية الاتجاه المتغير باستمرار، وفي النهاية أن يمسك به حدسياً، هذا ما كتبه في مؤلف **الفكر والمتحرك**.

من نواح عديدة، لا يمكن إلا أن نكون متأثرين بسداد وجهات نظر هذا الفيلسوف الذي كان يعلن، منذ مضي خمسين سنة، بأن العلم كان يعذب الزمان عذاباً شديداً ويشوهه، باسقاطه إياه في المكان (هذا ما كون التفسير السببي للزمان). يجب الإعتراف بالمقابل أن برغسون، وهو يلح بحق على الصيرورة، لم يقدر حق قدرها أهمية وجه الزمان الآخر، ذلك المرتبط بالسببية، فبعدم فهمه مداه الحقيقي، شوه نظرية النسبية في كتابه **دوام وتزامن**.

كان برغسون بالتأكيد على حق، بالمقابل، في الحاحه على صدوع (نقائص) الحتمية. فحدسه لم يخذله عندما كان يعلن أن الزمان هو اختراع. لكنه لم يفهم أن الحياة لم تكن جهداً مستمراً من أجل تسلق منحدر الأنطروپيا. ولا يوجد تفرع ثنائي بين المادة والحياة: فكلتاهما تخضعان لمبادىء التيرموديناميكا. لكن في حين أن إحداهما تستدل منها، في التجربة العادية، كي تتفكك وتتأحد، فإن الأخرى تغترف منها القوة على أن تتنظم. إن الإختراع الذي كان يطالب برغسون بحقه فيه بالنسبة للدوام، يوجد والحالة هذه يوجد في قلب الأنطروپيا عينه. من أجل إزاحته عن موقعه، ينبغي الإستفهام عن الصدفة، أو الأحرى عن الفوضى الكلية.

ما الرأي في الثنوية التي أدخلها بوغسون، في القطيعة التي يقر وجودها بين الحياة والفكر؟ إن هذا السؤال سوف يظل زماناً طويلاً خارج متناول الاستقصاء العلمي، مع أننا نستطيع دون التعرض لمجازفة أن نتوقع بأن هذه الحدود بين مجال العلم ومجال الدين سوف تكون مرفوضة. وكلما فهمنا دور الزمان في الطبيعة الفيزيائية. ثم في انتشار الحياة، في تفتح الأفراد، وأخيراً في تفتح الفكر، فإننا نحوط بشكل أفضل حدود (نهايات) المجالات التي تسنح لاستكشافنا بمناهج العلم. في هذه الأيام الآن، يتيح لنا علم الزمان أن نفهم آليات ضبط (تنظيم) الحي. وغدا، سوف يتيح لنا أن نفهم ما هي الذاكرة، وحسب سوف يفلت منا حينذاك ما يمثل الحد القصي للحياة المفكرة: التمثيل الذهني للعمل الحر.

بين الكون والحياة، وجه الصيرورة الحق

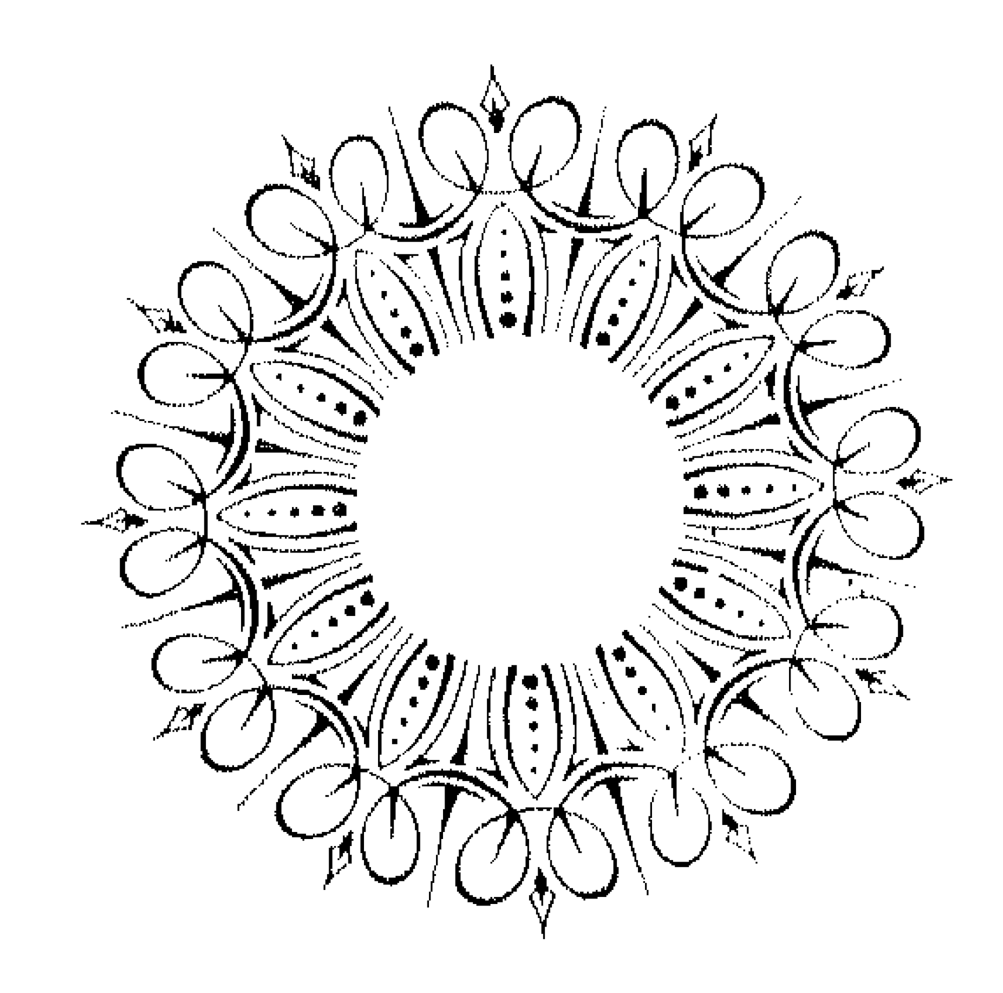
إن سلطان الزمان يتأكد عندما نتسلق درجات التعقيد، نحو أمكنة المجرات اللانهائية وتعقيد الموجودات الحية المجهري، وينبغي أن يحسب تحليلنا حساب ذلك. هل يكون صدفة، أو إشارة، إذا كان الموجود الأكثر تعقيداً هو أيضاً وحده من يمتلك حساً بالزمان مرهفاً بما يكفي لكي يشعر شعوراً مجرداً بكربه لحالته كفان، حتى في غياب كل خطر مباشر؟ إن هذا الكرب الوجودي الذي يترجم لا معقولية حالتنا كان قد وصفه بشكل جيد جداً البيركاموس. أفليس الأمل في أن نكون محررين منه هو ما يدفعنا إلى البحث الشغوف عن معرفة الزمان الكلية؟

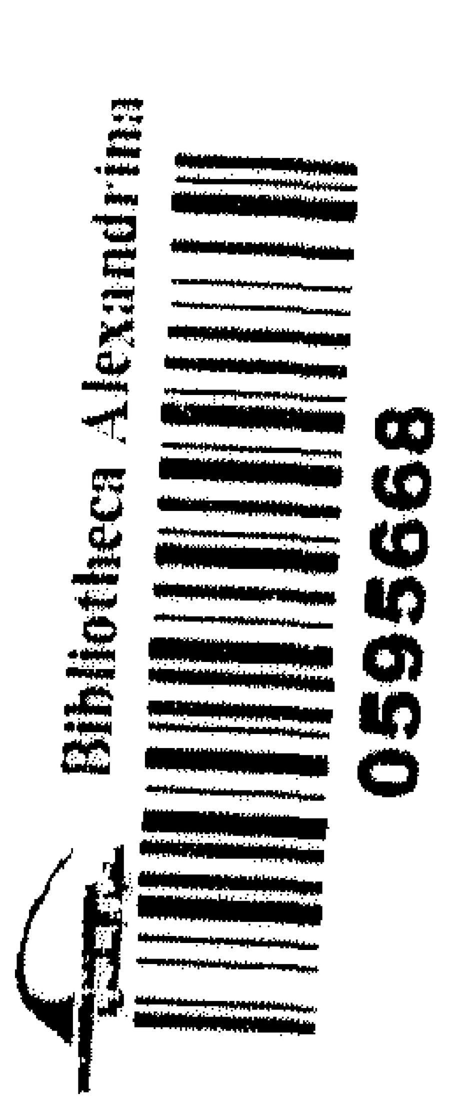
إن العلم يبيح لنا من الآن فصاعداً أن نعتقد أن الصيرورة التي نكابد سلطانها علينا المتزايدة، من الذرة إلى النجم، من الجزيء الإبتدائي إلى الموجود الحي، تكون، إذا صح القول، نسغ الواقعي في ذاته. إن الزمان ليس وحسب ديكوراً للحياة، جملة إحداثيات أو قائد اوركيسترا: فبعمق أكبر يعمل. إنه روح (نفس) المادة بالذات. إنه ليس والحالة هذه فكرة وحسب، ولا حتى **مثالاً من المثل**، وليس بشكل أكثر نتاج سيرورات ذهنية لأدمغتنا، ولا شيئاً ما وجوده، إذا صح القول، ربما سوف يكون منفصلاً عن الجوهر.

والـBig Bang وابتعاد المجرات المهيب في **الكون**، وتطور الموجودات الحية من الأميبا إلى الإنسان، وولادة طفل وتوجهه نحو البلوغ هي أسطع تظاهرات الزمن-صيرورة. فتتلاش على سوية الجزيء الأولي والنوى الذرية الفردية، صعب الإحاطة به بأدوات العلم التحليلي على سلم المنظومات الفيزيائية للحياة العادية، وهذا لا يتخذ كامل تماسكه (قوأمه) إلا في نهايات سلم التعقيد، سواء تعلق الأمر بتعقيد **الكون** المكاني أو كذلك بالتعقيد البنوي للموجودات الحية. وهاتان النهايتان تتلاقيان في وثاقة الصلة ببحث من أجل معرفة الزمان، هل الأمر صدفة، أو إشارة، إذا كنا مراراً وتكراراً قد صادفنا توازياً بين قدر (مستقبل) العالم وبين مستقبل (قدر) الحياة؟.

الفهرس

٣٠٠٠ط ١/٩/١٩٩٨





طُبِعَ في مطابع وزارة الثقافة

دمشق ١٩٩٨

سعر النسخة داخل القطر	في الأقطار العربية ما يعادل
٢٠٠ ل.س	٤٠٠ ل.س